

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000205

International filing date: 12 January 2005 (12.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-036458
Filing date: 13 February 2004 (13.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 03 March 2005 (03.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

13.01.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 1 3 日
Date of Application:

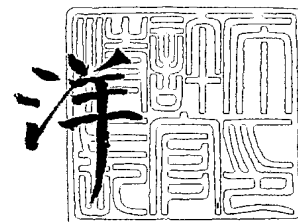
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 3 6 4 5 8
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 3 6 4 5 8]

出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン
Applicant(s):

2 0 0 5 年 2 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 1 1 5 4 5

【書類名】 特許願
【整理番号】 04-00119
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/027
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内
 【氏名】 吉川 伊織
【特許出願人】
 【識別番号】 000004112
 【氏名又は名称】 株式会社ニコン
【代理人】
 【識別番号】 100102901
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 立石 篤司
 【電話番号】 042-739-6625
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 053132
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9408046

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

物体上に形成されたマークの少なくとも 2 方向に関するサイズの情報を計測する計測方法であって、

前記物体が基準方向に設定された第 1 の状態で、計測装置により前記マークの第 1 の画像を取り込む第 1 の画像取り込み工程と；

前記第 1 の状態から前記マークの少なくとも一部が所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 回転した第 2 の状態で、前記計測装置により前記マークの第 2 の画像を取り込む第 2 の画像取り込み工程と；

前記第 1 の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、前記マークの前記基準方向に直交する第 1 方向に関する第 1 のサイズを計測する第 1 計測工程と；

前記第 2 の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、前記マークの前記第 1 方向に対して前記角度 α 回転した第 2 方向に関する第 2 のサイズを計測する第 2 計測工程と；を含む計測方法。

【請求項 2】

前記物体上には、前記マークが複数異なる位置に配置され、

前記第 1、第 2 の画像取り込み工程では、複数のマークの画像が、それぞれ取り込まれ、

前記第 1、第 2 の計測工程では、前記複数のマークのそれぞれについて、前記 1 のサイズ、第 2 のサイズが計測されることを特徴とする請求項 1 に記載の計測方法。

【請求項 3】

前記マークは、前記基準方向に延びる第 1 ライン要素と、前記基準方向に対して前記角度 α 回転した方向に延びる第 2 ライン要素とを含み、

前記マークの第 1 のサイズは、前記第 1 ライン要素の幅方向のサイズであり、前記マークの第 2 のサイズは、前記第 2 ライン要素の幅方向のサイズであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の計測方法。

【請求項 4】

前記マークは、前記物体上で前記サイズの計測方向が前記所定角度 α で交差するように配置される第 1 及び第 2 要素を含み、前記マークの第 1 のサイズとして前記第 1 方向に関する前記第 1 要素のサイズを計測するために、前記第 1 の状態では計測方向が前記基準方向とほぼ直交する前記第 1 要素の画像を少なくとも前記第 1 の画像として取り込むとともに、前記マークの第 2 のサイズとして前記第 2 方向に関する前記第 2 要素のサイズを計測するために、前記第 2 の状態では計測方向が前記基準方向とほぼ直交する前記第 2 要素の画像を少なくとも前記第 2 の画像として取り込むことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の計測方法。

【請求項 5】

前記物体は、前記計測装置内で前記第 1 要素の計測方向が前記基準方向とほぼ直交するように配置されて前記第 1 の画像が取り込まれた後、ほぼ前記所定角度 α だけ回転されて前記第 2 の画像が取り込まれることを特徴とする請求項 4 に記載の計測方法。

【請求項 6】

前記マークは、前記第 1 及び第 2 要素を含む少なくとも 1 つの第 1 マークと、前記第 1 マークに対して前記第 1 及び第 2 要素がほぼ前記所定角度 α だけ回転している少なくとも 1 つの第 2 マークとを含み、前記第 1 の状態における前記第 1 マークの少なくとも第 1 要素の画像取込と、前記第 2 の状態における前記第 2 マークの少なくとも第 2 要素の画像取込とが、前記物体を実質的に回転させることなく行われることを特徴とする請求項 4 に記載の計測方法。

【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 マークはそれぞれ前記物体の回転方向の位置を除いて同一条件で前記物体に形成されることを特徴とする請求項 6 に記載の計測方法。

【請求項 8】

前記角度 α は、 90° であることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか一項に記載の計測方法。

【請求項 9】

前記マークは、露光装置によって、前記物体上に転写された所定の計測用マークの転写像であることを特徴とする請求項 1～8 のいずれか一項に記載の計測方法。

【請求項 10】

前記マークは、前記露光装置の 1 回の露光動作によって前記物体上の同一領域内の異なる位置にそれぞれ形成され、前記各位置で計測されるマークサイズに基づいて前記露光装置の異なる方向に関する転写特性がそれぞれ求められることを特徴とする請求項 9 に記載の計測方法。

【請求項 11】

前記マークは、前記露光装置の複数の露光動作によって前記物体上の異なる領域にそれぞれ形成され、前記異なる領域で計測されるマークサイズに基づいて前記露光装置の異なる方向に関する転写特性がそれぞれ求められることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の計測方法。

【請求項 12】

前記マークは、前記露光装置による少なくとも 1 回の第 1 露光と、前記第 1 露光と前記物体の回転角が実質的に前記所定角度 α だけ異なる少なくとも 1 回の第 2 露光とによって前記物体上の異なる領域にそれぞれ形成され、前記第 1 露光によって形成されるマークの少なくとも一部が前記第 1 の画像として取り込まれ、前記第 2 露光によって形成されるマークの少なくとも一部が前記第 2 の画像として取り込まれることを特徴とする請求項 9～11 のいずれか一項に記載の計測方法。

【請求項 13】

前記第 1 及び第 2 露光では前記計測用マークを含む前記露光装置による転写条件が同一に設定され、前記第 1 露光によって形成されるマークの第 1 部分が少なくとも前記第 1 の画像として取り込まれ、前記第 2 露光によって形成されるマークの前記第 1 部分と異なる第 2 部分が少なくとも前記第 2 の画像として取り込まれることを特徴とする請求項 12 に記載の計測方法。

【請求項 14】

前記第 1 及び第 2 部分はその構成が実質的に同一であり、前記第 1 及び第 2 露光はその回数がほぼ等しいことを特徴とする請求項 13 に記載の計測方法。

【請求項 15】

前記第 1 及び第 2 露光はそれぞれ複数回ずつ行われ、前記物体上で前記第 1 露光によってマークが形成される複数の第 1 領域と、前記第 2 露光によってマークが形成される複数の第 2 領域とは実質的に交互に配置されることを特徴とする請求項 12～14 のいずれか一項に記載の計測方法。

【請求項 16】

前記計測装置は、荷電粒子線走査型の計測装置であることを特徴とする請求項 1～15 のいずれか一項に記載の計測方法。

【請求項 17】

マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の異なる 2 方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、

前記露光装置を用いて、前記 2 方向の転写特性の計測に用いられる第 1 及び第 2 要素を含むマークを物体上に形成する転写工程と；

前記物体を計測装置内で基準方向に設定して前記第 1 及び第 2 要素の一方を含む前記マークの少なくとも一部の第 1 画像を取り込むとともに、前記第 1 画像の取込時と回転角が実質的に前記 2 方向の交差角と同一角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) だけ異なる前記第 1 及び第 2 要素の他方を含む前記マークの少なくとも一部の第 2 画像を取り込む画像取込工程と；

前記第 1 及び第 2 画像をそれぞれ処理して、前記マークの前記 2 方向に関する第 1 及び

第2サイズをそれぞれ計測する計測工程と；を含む転写特性計測方法。

【請求項18】

前記計測装置による前記第1画像の取込後に前記物体をほぼ前記角度 α だけ回転して前記第2画像の取込を行うことを特徴とする請求項17に記載の転写特性計測方法。

【請求項19】

前記転写工程では、前記露光装置による少なくとも1回の第1露光と、前記第1露光と前記物体の回転角が実質的に前記角度 α だけ異なる少なくとも1回の第2露光とによって、前記物体上の異なる領域に前記マークがそれぞれ形成され、前記画像取込工程では、前記第1露光によって形成される第1マークの少なくとも前記第1及び第2要素の一方を前記第1画像として取り込んだ後、前記物体を実質的に回転させることなく、前記第2露光によって形成される第2マークの少なくとも前記第1及び第2要素の他方を前記第2画像として取り込むことを特徴とする請求項17に記載の転写特性計測方法。

【請求項20】

前記第1及び第2露光では所定の計測用マークを含む前記露光装置による転写条件が同一に設定されるとともに、前記第1及び第2マークのいずれでも前記第1及び第2要素はその構成が実質的に同一であることを特徴とする請求項19に記載の転写特性計測方法。

【請求項21】

前記第1及び第2露光はそれぞれ複数回ずつ行われ、前記複数の第1マークの画像処理から得られる前記一方のマークのサイズを前記2方向の一方に関する第1サイズとし、前記複数の第2マークの画像処理から得られる前記他方のマークのサイズを前記2方向の他方に関する第2サイズとして決定することを特徴とする請求項19又は20に記載の転写特性計測方法。

【請求項22】

マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置によるパターンの転写特性を計測する転写特性計測方法であって、

所定の計測用マークが少なくとも1つ形成されたパターン領域を有する計測マスクを前記露光装置に搭載して露光を行い、前記パターン領域を前記物体上に転写する第1転写工程と；

前記計測マスク及び前記物体の少なくとも一方を回転して、前記計測マスクに対する前記物体の角度が、前記第1転写工程から所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 変化した状態で、前記パターン領域を前記物体上に転写する第2転写工程と；

前記物体が基準方向に設定された状態で、前記第1転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第1の転写像と、前記第2転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第2の転写像との画像を、計測装置によりそれぞれ取り込む画像取り込み工程と；

取り込まれた前記第1の転写像の画像と第2の転写像の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理をそれぞれ施して、前記計測用マークの第1の転写像及び第2の転写像それぞれの前記基準方向に対応する方向に直交する計測方向に関するサイズを、少なくとも計測する計測工程と；を含む転写特性計測方法。

【請求項23】

前記計測工程では、前記第1転写工程で形成される前記計測用マークの転写像の一部を前記第1の転写像とし、かつ前記第2転写工程で形成される前記計測用マークの転写像で前記第1の転写像と異なるその一部を前記第2の転写像として前記計測方向に関するサイズをそれぞれ計測することを特徴とする請求項22に記載の転写特性計測方法。

【請求項24】

前記計測用マークは、互いに異なる第1及び第2マーク要素を含み、前記第1及び第2転写工程の一方で形成される前記第1及び第2マーク要素の転写像の一方と、他方の転写工程で形成される前記第1及び第2マーク要素の転写像の他方とが前記物体上で重ならないように、前記第1転写工程と前記第2転写工程とで前記物体上での前記計測用マークの転写領域の少なくとも一部を異ならせることを特徴とする請求項22又は23に記載の転

写特性計測方法。

【請求項 25】

前記計測用マークは、互いに異なる第1及び第2マーク要素を含み、前記計測工程では、前記第1転写工程で形成される前記第1及び第2マーク要素の一方の転写像を前記第1の転写像とし、かつ前記第2転写工程で形成される前記第1及び第2マーク要素の他方の転写像を前記第2の転写像として前記計測方向に関するサイズをそれぞれ計測することを特徴とする請求項22～24のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 26】

前記計測結果に基づいて、前記露光装置の互いに交差する第1及び第2方向に関する前記計測用マークの転写像のサイズをそれぞれ決定することを特徴とする請求項22～25のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 27】

前記第1転写工程、第2転写工程では、前記パターン領域が前記物体上の異なる複数箇所にそれぞれ転写され、

前記画像取り込み工程では、前記第1転写工程で前記物体上の異なる複数箇所にそれぞれ転写された前記計測用マークの複数の第1の転写像と、前記第2転写工程で前記物体上の異なる複数箇所にそれぞれ転写された前記計測用マークの複数の第2の転写像との画像の取り込みが行われ、

前記計測工程では、前記複数の第1の転写像及び前記複数の第2の転写像のそれぞれで前記画像処理を行って、前記第1及び第2の転写像それぞれで前記計測方向に関するサイズを決定することを特徴とする請求項22～26のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 28】

前記計測用マークは、互いに異なる第1及び第2マーク要素を含み、前記計測工程では、前記第1転写工程で形成される前記第1及び第2マーク要素の一方の転写像を前記第1の転写像とし、かつ前記第2転写工程で形成される前記第1及び第2マーク要素の他方の転写像を前記第2の転写像として前記計測方向に関するサイズをそれぞれ計測し、その計測結果に基づいて前記サイズのばらつきを求めることを特徴とする請求項22～27のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 29】

前記計測マスク上には、前記計測用マークが、前記パターン領域内の異なる位置に複数形成され、

前記画像取り込み工程では、前記第1転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第1の転写像と、前記第2転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第2の転写像との画像の取り込みが、前記複数の計測用マークの各々について行われ、

前記計測工程では、前記複数の計測用マークの第1の転写像及び第2の転写像それぞれの前記計測方向に関するサイズに基づいて、前記第1の転写像、第2の転写像それぞれの前記計測方向に関するサイズの面内均一性を、更に計測することを特徴とする請求項22～28のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 30】

前記第1及び第2転写工程では、前記計測用マークを含む前記露光装置による転写条件が同一に設定されるとともに、前記計測用マークは、前記露光装置の互いに交差する第1及び第2方向に関する転写特性をそれぞれ計測するために、その構成が実質的に同一である第1及び第2マーク要素を含むことを特徴とする請求項22～29のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 31】

前記計測用マークは、前記パターン領域内の異なる複数位置にそれぞれ形成され、前記第1及び第2転写工程では、前記パターン領域の転写が複数回ずつ行われるとともに、前記計測工程では、前記物体上で前記パターン領域が転写される複数の領域それぞれで前記計測方向に関する前記各計測用マークの第1及び第2の転写像のサイズがそれぞれ計測さ

れることを特徴とする請求項 22～30 のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 32】

マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の互いに交差する第 1 及び第 2 方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、

前記露光装置を用いて、前記第 1 及び第 2 方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第 1 及び第 2 要素を含むマークを物体上に形成する工程と；

前記物体上に形成されたマークの第 1 及び第 2 要素をそれぞれ前記計測方向が計測装置内ではほぼ同一方向となるように検出して前記計測方向に関するサイズを計測する工程と；を含む転写特性計測方法。

【請求項 33】

マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の互いに交差する第 1 及び第 2 方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、

前記露光装置を用いて、前記第 1 及び第 2 方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第 1 及び第 2 要素を含むマークを、その回転角が前記第 1 及び第 2 方向の交差角とほぼ同一角度だけ異なる第 1 及び第 2 マークとして物体上に形成する工程と；

前記物体上に形成された第 1 マークの第 1 及び第 2 要素の一方と、前記第 1 マークの一方の要素と計測方向が実質的に一致する前記物体上に形成された第 2 マークの第 1 及び第 2 要素の他方とを検出して、前記計測方向に関する前記マークの第 1 及び第 2 要素のサイズをそれぞれ計測する工程と；を含む転写特性計測方法。

【請求項 34】

前記計測用マークは、前記基準方向に延びる第 1 ラインパターン要素と、前記基準方向に対して前記角度 α 回転した方向に延びる第 2 ラインパターン要素とを含み、

前記計測用マークの第 1 の転写像の前記計測方向に関するサイズは、前記第 1 ラインパターン要素の転写像の幅方向のサイズであり、前記計測用マークの第 2 の転写像の前記計測方向に関するサイズは、前記第 2 ラインパターン要素の転写像の幅方向のサイズであることを特徴とする請求項 22～31 のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 35】

前記角度 α は、 90° であることを特徴とする請求項 22～31、34 のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 36】

前記計測装置は、荷電粒子線走査型の計測装置であることを特徴とする請求項 22～35 のいずれか一項に記載の転写特性計測方法。

【請求項 37】

請求項 22～36 のいずれか一項に記載の転写特性計測方法を用いて、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置によるパターンの転写特性を計測する工程と；

前記計測結果に基づいて、前記露光装置の調整を行う調整工程と；を含む露光装置の調整方法。

【請求項 38】

前記露光装置は、前記パターンの像を前記物体上に投影する投影光学系を有し、前記転写特性は、前記投影光学系の結像特性を含む請求項 37 に記載の露光装置の調整方法。

【請求項 39】

請求項 37 又は 38 に記載の調整方法によりパターンの転写特性が調整される露光装置を用いて、マスクに形成されたパターンを感光物体上に転写する工程を含む、デバイス製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 計測方法、転写特性計測方法、露光装置の調整方法及びデバイス製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測方法、転写特性計測方法、露光装置の調整方法及びデバイス製造方法に係り、更に詳しくは、物体上に形成されたマークの少なくとも2方向に関するサイズの情報を計測する計測方法、露光装置により物体上に形成されたマーク（計測用マークの転写像）のサイズに基づいて露光装置によるパターンの転写特性を計測する転写特性計測方法、該転写特性計測方法を利用した露光装置の調整方法及び該調整方法により調整された露光装置を用いるデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、半導体素子、表示素子（液晶表示素子等）、撮像素子（CCD等）、薄膜磁気ヘッド、あるいはマイクロマシンなどのマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを、ウエハ又はガラスプレート等の物体（以下、「ウエハ」と総称する）上に転写する、種々の露光装置が用いられている。近年では、スループットを重視する観点からステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（いわゆるステッパ）やステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（いわゆるスキヤナ（スキヤニング・ステッパとも呼ばれる））などの逐次移動型の投影露光装置が、主として用いられている。

【0003】

この種の投影露光装置は、マイクロデバイスの製造に用いられるものであることから、最終製品であるデバイスに所望の性能を発揮させるためには、レチクル上に形成されたパターンの投影光学系の投影倍率に応じた縮小像（パターンが投影倍率に応じた大きさに縮小された元のパターンと相似形の像）をウエハ上に正確に形成できることが重要である。特に、レチクル上の同一サイズのパターンの転写像は、投影光学系の有効視野又は露光フィールド内の全域で、同一サイズで形成できること、すなわちパターンサイズの面内均一性などが重要である。例えば、ラインパターンの場合、その像の線幅が、面内で均一であるとともに、縦ライン、横ライン間においても、線幅均一性が重要である。

【0004】

上記のパターンサイズの面内均一性などは、投影光学系の結像特性によって大きく影響を受け、例えば投影光学系に像面湾曲、球面収差、コマ収差やディストーションなどの収差がある場合には、それぞれ異なる位置に形成される同一サイズのパターンの像の形成状態が異なったものとなる。また、投影光学系に非点収差がある場合には、同一サイズの横線パターンのレジスト像と縦線パターンのレジスト像の形成状態が異なったものとなる。このことを、反対から言えば、投影光学系を介してウエハ上にそれぞれ転写された同一サイズのパターンの複数の転写像（例えばレジスト像など）のサイズ（例えば線幅）の計測を行えば、その計測結果に基づいて投影光学系の結像特性を知ることができ、さらには投影光学系の結像特性の調整などの露光装置の調整が可能となるということである。

【0005】

近年では、パターンの微細化に伴い、ウエハ上に形成されたレジスト像などのサイズ（例えばラインパターンの場合の線幅など）を計測する場合、計測装置として測長用の走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope: SEM）（以下、単に「SEM」と言う）が用いられるのが一般的になっている。

【0006】

しかるに、露光装置によりレチクルのパターンがウエハ上に転写され、そのウエハの現像後にそのウエハ上のほぼ同一位置に形成されたレジスト像の線幅計測を、市販の測長用のSEMシステムを用いて行う場合に、露光装置の調整を何度となく繰り返し行っても、縦線パターンのレジスト像と横線パターンのレジスト像とで、最近の露光装置に要求されるパターン線幅制御性の仕様（スペック）を満足できない線幅差が計測結果に含まれ、半

導体工場内の露光装置の立ち上げに予想外の時間を要する事態が頻繁に発生するようになってきた。

【0007】

露光装置に要求されるパターン線幅制御性の仕様（スペック）は将来的に更に厳しくなるのは確実であるから、上記の線幅差を低減できる新技術を開発することは、重要である。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明者は、上記の縦線パターンのレジスト像と横線パターンのレジスト像との線幅差の要因を正確に知るため、種々の実験を繰り返した結果、投影光学系を収差が殆どない状態まで調整しても、上述した測長用のSEMによる計測の結果に上記の線幅差が含まれることを確認した。このことより、本発明者は、上記の線幅差は、何らかの要因による計測誤差が大部分を占めるとの結論に達し、線幅計測の一連の処理を分析した。その結果、SEMによるレジスト像の画像取り込み、及びその後に行われるその画像に対するエッジ検出処理を含む画像処理の組み合わせに、上記の計測誤差の発生要因があること、特に、画像処理の過程で、横線パターンのレジスト像の画像のみ回転した画像に対してエッジ検出処理が行われることが、上記誤差発生の主要因であるとほぼ確信した。

【0009】

本発明は、本発明者の上記誤差の発生要因の究明結果に基づいてなされたもので、第1の観点からすると、物体上に形成されたマークの少なくとも2方向に関するサイズの情報を計測する計測方法であって、前記物体が基準方向に設定された第1の状態、計測装置により前記マークの第1の画像を取り込む第1の画像取り込み工程と；前記第1の状態から前記マークの少なくとも一部が所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 回転した第2の状態、前記計測装置により前記マークの第2の画像を取り込む第2の画像取り込み工程と；前記第1の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、前記マークの前記基準方向に直交する第1方向に関する第1のサイズを計測する第1計測工程と；前記第2の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、前記マークの前記第1方向に対して前記角度 α 回転した第2方向に関する第2のサイズを計測する第2計測工程と；を含む計測方法である。

【0010】

これによれば、物体が基準方向に設定された第1の状態、計測装置により取り込まれたマークの第1の画像に対しては、エッジ検出処理を伴う画像処理が施されて、マークの前記基準方向に直交する第1方向に関する第1のサイズが計測され、また、前記第1の状態から前記マークの少なくとも一部が所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 回転した第2の状態、前記計測装置により取り込まれたマークの第2の画像に対しては、エッジ検出処理を伴う画像処理が施され、マークの前記第1方向に対して前記角度 α 回転した第2方向に関する第2のサイズが計測される。すなわち、第1及び第2の画像は、例えば物体上でのマーク配置などに応じて計測装置による取込が実質的に同一条件で行われて、エッジ検出処理を伴う画像処理が施されるので、画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因するマークのサイズ計測精度の低下を防止することができる。

【0011】

本発明は、第2の観点からすると、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の異なる2方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、前記露光装置を用いて、前記2方向の転写特性の計測に用いられる第1及び第2要素を含むマークを物体上に形成する工程と；前記物体を計測装置内で基準方向に設定して前記第1及び第2要素の一方を含む前記マークの少なくとも一部の第1画像を取り込むとともに、前記第1画像の取込時と回転角が実質的に前記2方向の交差角と同一角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) だけ異なる前記第1及び第2要素の他方を含む前記マークの少なくとも一部の第2画像を取り込む画像取込工程と；前記第1及び第2画像をそれぞれ処理して、前記マークの

前記 2 方向に関する第 1 及び第 2 サイズをそれぞれ計測する計測工程と；を含む第 1 の転写特性計測方法である。

【0012】

これによれば、露光装置を用いて、2 方向の転写特性の計測に用いられる第 1 及び第 2 要素を含むマークが物体上に形成される。次に、このマークが形成された物体が計測装置内で基準方向に設定され、前記第 1 及び第 2 要素の一方を含む前記マークの少なくとも一部の第 1 画像が取り込まれるとともに、第 1 画像の取込時と回転角が実質的に前記 2 方向の交差角と同一角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) だけ異なる前記第 1 及び第 2 要素の他方を含む前記マークの少なくとも一部の第 2 画像が取り込まれる。そして、前記第 1 及び第 2 画像をそれぞれ処理して、前記マークの前記 2 方向に関する第 1 及び第 2 サイズがそれぞれ計測される。すなわち、第 1 及び第 2 画像は、例えば物体上でのマーク配置などに応じて計測装置による取込が実質的に同一条件で行われて、画像処理が施されるので、画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因するマークのサイズ計測精度の低下を防止することができ、結果的に露光装置の異なる 2 方向に関する転写特性を正確に計測（評価）することが可能となる。

【0013】

本発明は、第 3 の観点からすると、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置によるパターンの転写特性を計測する転写特性計測方法であって、所定の計測用マークが少なくとも 1 つ形成されたパターン領域を有する計測マスクを前記露光装置に搭載して露光を行い、前記パターン領域を前記物体上に転写する第 1 転写工程と；前記計測マスク及び前記物体の少なくとも一方を回転して、前記計測マスクに対する前記物体の角度が、前記第 1 転写工程から所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 変化した状態で、前記パターン領域を前記物体上に転写する第 2 転写工程と；前記物体が基準方向に設定された状態で、前記第 1 転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第 1 の転写像と、前記第 2 転写工程で前記物体上に形成された前記計測用マークの第 2 の転写像との画像を、計測装置によりそれぞれ取り込む画像取り込み工程と；取り込まれた前記第 1 の転写像の画像と第 2 の転写像の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理をそれぞれ施して、前記計測用マークの第 1 の転写像及び第 2 の転写像それぞれの前記基準方向に対応する方向に直交する計測方向に関するサイズを、少なくとも計測する計測工程と；を含む第 2 の転写特性計測方法である。

【0014】

これによれば、所定の計測用マークが少なくとも 1 つ形成されたパターン領域を有する計測マスクを露光装置に搭載して露光を行い、前記パターン領域を物体上に転写し、前記計測用マークの第 1 の転写像を前記物体上に形成する。また、前記計測マスク及び前記物体の少なくとも一方を回転して、前記計測マスクに対する前記物体の角度が、第 1 の転写像の形成時の状態から所定角度 α ($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) 変化した状態で、前記パターン領域を前記物体上に転写し、前記計測用マークの第 2 の転写像を物体上に形成する。そして、前記物体が基準方向に設定された状態で、物体上に形成された計測用マークの第 1 の転写像の画像と、物体上に形成された計測用マークの第 2 の転写像の画像が、計測装置により取り込まれる。そして、取り込まれた第 1 の転写像の画像と第 2 の転写像の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理がそれぞれ施され、計測用マークの第 1 の転写像及び第 2 の転写像それぞれの前記基準方向に対応する方向に直交する計測方向に関するサイズが、少なくとも計測される。すなわち、第 1 及び第 2 の転写像は、例えば計測装置による画像取込が実質的に同一条件で行われるように物体上にそれぞれ形成されるので、計測装置によりそれぞれ取り込まれた第 1 及び第 2 の転写像の画像に対して、いずれにも回転を加えることなくエッジ検出処理を伴う画像処理が施され、計測用マークの第 1 の転写像及び第 2 の転写像それぞれの計測方向のサイズが計測される。これにより、画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因する計測用マークの像のサイズ計測精度の低下を防止することができ、結果的に露光装置によるパターンの転写特性を正確に計測（評価）することが可能となる。

【0015】

本発明は、第4の観点からすると、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の互いに交差する第1及び第2方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、前記露光装置を用いて、前記第1及び第2方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第1及び第2要素を含むマークを物体上に形成する工程と；前記物体上に形成されたマークの第1及び第2要素をそれぞれ前記計測方向が計測装置内でほぼ同一方向となるように検出して前記計測方向に関するサイズを計測する工程と；を含む第3の転写特性計測方法である。

【0016】

ここで、「検出」とは、画像の取り込み及び画像処理などを含む総合的な検出処理を意味する。

【0017】

これによれば、露光装置を用いて、第1及び第2方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第1及び第2要素を含むマークが物体上に形成される。次いで、前記物体上に形成されたマークの第1及び第2要素がそれぞれ計測方向が計測装置内でほぼ同一方向となるように検出して前記計測方向に関するサイズが計測される。すなわち、第1及び第2の要素は、計測装置により計測方向を同一方向としてサイズ計測が行われるので、計測対象の画像の回転に起因するマークのサイズ計測精度の低下を防止することができ、結果的に露光装置の異なる2方向に関する転写特性を正確に計測（評価）することが可能となる。

【0018】

本発明は、第5の観点からすると、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置の互いに交差する第1及び第2方向に関する転写特性を計測する転写特性計測方法であって、前記露光装置を用いて、前記第1及び第2方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第1及び第2要素を含むマークを、その回転角が前記第1及び第2方向の交差角とほぼ同一角度だけ異なる第1及び第2マークとして物体上に形成する工程と；前記物体上に形成された第1マークの第1及び第2要素の一方と、前記第1マークの一方の要素と計測方向が実質的に一致する前記物体上に形成された第2マークの第1及び第2要素の他方とを検出して、前記計測方向に関する前記マークの第1及び第2要素のサイズをそれぞれ計測する工程と；を含む第4の転写特性計測方法である。

【0019】

ここで、「検出」とは、画像の取り込み及び画像処理などを含む総合的な検出処理を意味する。

【0020】

これによれば、露光装置を用いて、第1及び第2方向とそれぞれ計測方向が実質的に一致する第1及び第2要素を含むマークが、その回転角が前記第1及び第2方向の交差角とほぼ同一角度だけ異なる第1及び第2マークとして物体上に形成される。次に、その物体上に形成された第1マークの第1及び第2要素の一方と、前記第1マークの一方の要素と計測方向が実質的に一致する前記物体上に形成された第2マークの第1及び第2要素の他方とを検出して、前記計測方向に関する前記マークの第1及び第2要素のサイズがそれぞれ計測される。すなわち、第1マークの第1及び第2要素の一方と、第2マークの第1及び第2要素の他方とは、例えば計測装置により実質的に同一条件で検出が行われるように物体上にそれぞれ形成されるので、いずれにも回転を加えることなく検出処理が施され、前記計測方向に関する前記マークの第1及び第2要素のサイズが計測される。これにより、マークのサイズ計測精度の低下を防止することができ、結果的に露光装置の異なる2方向に関する転写特性を正確に計測（評価）することが可能となる。

【0021】

本発明は、第6の観点からすると、本発明の第1～第4の転写特性計測方法のいずれかを用いて、マスクに形成されたパターンを物体上に転写する露光装置によるパターンの転写特性を計測する工程と；前記計測結果に基づいて、前記露光装置の調整を行う調整工程と；を含む露光装置の調整方法である。

【0022】

これによれば、本発明の第1～第4の転写特性計測方法のいずれかを用いて露光装置によるパターン転写特性が正確に計測（評価）され、この計測結果に基づいて露光装置の調整が行われる。従って、露光装置によるパターン転写特性を精度良く調整することが可能となる。

【0023】

また、リソグラフィ工程において、本発明の調整方法によりパターン転写特性が調整される露光装置で、マスクに形成されたパターンを感光物体上に転写することにより、高集積度のデバイスを歩留り良く製造することができる。従って、本発明は、更に別の観点からすると、本発明の調整方法により調整された露光装置を用いてデバイスを製造するデバイス製造方法であるとも言える。

【発明を実施するための最良の形態】**【0024】**

以下、本発明の一実施形態を図1～図7に基づいて説明する。

【0025】

図1には、本発明の露光装置の調整方法が適用される一実施形態に係る露光装置100の概略構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャナ）である。

【0026】

露光装置100は、光源及び照明光学系から成る照明系10、この照明系からのエネルギービームとしての露光用照明光（以下、「照明光」と略述する）ILにより照明されるマスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRから射出された照明光ILを物体としてのウエハW上（像面上）に投射する投影光学系PL、ウエハWを保持するウエハステージWST、及びこれらの制御系等を備えている。

【0027】

前記照明系10は、例えば特開平6-349701号公報（対応する米国特許第5,534,970号）などに開示されるように、光源、オプティカルインテグレート等を含む照度均一化光学系、ビームスプリッタ、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド等（いずれも不図示）を含んで構成されている。この照明系10では、レチクルブラインドで規定されたレチクルR上のスリット状の照明領域を照明光ILによりほぼ均一な照度で照明する。ここで、照明光ILとしては、一例としてArFエキシマレーザ光（波長193nm）が用いられている。また、オプティカルインテグレートとしては、フライアイレンズ、ロッドインテグレート（内面反射型インテグレート）あるいは回折光学素子などを用いることができる。

【0028】

前記レチクルステージRST上にはレチクルRが装填され、不図示の静電チャック（又はバキュームチャック）等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、不図示の駆動系により水平面（XY平面）内で微小駆動（回転を含む）が可能な構成となっている。レチクルステージRSTは、例えばリニアモータ等を含む不図示のレチクルステージ駆動部によって、照明系の光軸（後述する投影光学系PLの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微小駆動可能（Z軸回りの回転を含む）であるとともに、所定の走査方向（ここではY軸方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっている。

【0029】

レチクルステージRSTのXY平面内の位置は、レチクルステージRSTに設けられた（又は形成された）反射面を介してレチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）54Rによって、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計54RからのレチクルステージRSTの位置情報は、照明光学系（光源を除く照明系10の構成部分）及び投影光学系等を内部に收容する不図示の本体チャンバの外部に設置された主制御装置50に供給される。主制御装置50は、レチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動部（不図示）を介してレチクルステージRSTを

駆動制御する。

【0030】

前記投影光学系 PL は、例えば両側テレセントリックな縮小系が用いられている。この投影光学系 PL の投影倍率は例えば $1/4$ 、 $1/5$ あるいは $1/6$ 等である。このため、前記の如くして、照明光 IL によりレチクル R 上の照明領域 IAR が照明されると、投影光学系 PL を介してその照明領域 IAR 内のレチクル R の回路パターン等の縮小像がその照明領域 IAR と共役なウエハ W 上の照明光 IL の照射領域（露光領域）IA に形成される。

【0031】

投影光学系 PL としては、複数枚、例えば 10～20 枚程度の屈折光学素子（レンズ素子）13 のみから成る屈折系が用いられている。この投影光学系 PL を構成する複数枚のレンズ素子 13 のうち、物体面側（レチクル R 側）の複数枚（ここでは、説明を簡略化するために 4 枚とする）のレンズ素子 13₁、13₂、13₃、13₄ は、結像特性補正コントローラ 48 によって外部から駆動可能な可動レンズとなっている。レンズ素子 13₁～13₄ は、不図示の二重構造のレンズホルダをそれぞれ介して鏡筒に保持されている。これらレンズ素子 13₁～13₄ は、内側レンズホルダにそれぞれ保持され、これらの内側レンズホルダが不図示の駆動素子、例えば piezo 素子などにより重力方向に 3 点で外側レンズホルダに対して支持されている。そして、これらの駆動素子に対する印加電圧を独立して調整することにより、レンズ素子 13₁～13₄ のそれぞれを投影光学系 PL の光軸方向である Z 軸方向にシフト駆動、及び XY 面に対する傾斜方向（すなわち X 軸回りの回転方向（ θ_x 方向）及び Y 軸回りの回転方向（ θ_y 方向）に駆動可能（チルト可能）な構成となっている。

【0032】

その他のレンズ素子 13 は、通常のレンズホルダを介して鏡筒に保持されている。なお、レンズ素子 13₁～13₄ に限らず、投影光学系 PL の瞳面近傍、又は像面側に配置されるレンズ素子、あるいは投影光学系 PL の収差、特にその非回転対称成分を補正する収差補正板（光学プレート）などを駆動可能に構成しても良い。更に、それらの駆動可能な光学素子の自由度（移動可能な方向）は 3 つに限られるものではなく 1 つ、2 つあるいは 4 つ以上でも良い。

【0033】

前記ウエハステージ WST 上にはウエハホルダ 25 を介してウエハ W が真空吸着（あるいは静電吸着）等により保持されている。本実施形態では、ウエハホルダ 25 として、特開 2002-050560 号公報（対応する米国特許出願公開 2003/0020889 号明細書）に開示されるような、不図示の駆動装置（例えば回転モータ）により、ウエハを保持した状態で Z 軸回りにほぼ 180° の角度範囲内で回転が可能とされたホルダが採用されている。

【0034】

ウエハステージ WST は、投影光学系 PL の下方に配置され、リニアモータ、ボイスコイルモータ（VCM）等から成るウエハステージ駆動部 56 により、XY 平面内方向及び Z 軸方向に移動可能であり、XY 面に対する傾斜方向（X 軸回りの回転方向（ θ_x 方向）及び Y 軸回りの回転方向（ θ_y 方向））にも微小駆動可能となっている。

【0035】

ウエハステージ WST の XY 平面内での位置（Z 軸回りの回転（ θ_z 回転）を含む）は、ウエハステージ WST に設けられた（又は形成された）反射面を介してウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」と略述する）54W によって、例えば 0.5～1 nm 程度の分解能で常時検出されている。ウエハ干渉計 54W は、測長軸を複数有する多軸干渉計を複数含み、これらの干渉計によって、ウエハステージ WST の回転（ θ_z 回転（ヨーイング）、Y 軸回りの回転である θ_y 回転（ローリング）、及び X 軸回りの回転である θ_x 回転（ピッチング））が計測可能となっている。

【0036】

ウエハ干渉計 54W によって検出されたウエハステージ WST の位置情報（又は速度情報）は主制御装置 50 に供給される。主制御装置 50 は、ウエハステージ WST の上記位置情報（又は速度情報）に基づいて、ウエハステージ駆動部 56 を介してウエハステージ WST の位置を制御する。

【0037】

また、ウエハステージ WST 上には、後述するレチクルアライメント用の複数対の第 1 基準マーク、後述するアライメント系 ALG のベースライン計測用の基準マーク等が形成された基準マーク板 FM が、その表面がほぼウエハ W の表面と同一高さとなるように固定されている。

【0038】

本実施形態の露光装置 100 には、主制御装置 50 によってオン・オフが制御される光源を有し、投影光学系 PL の結像面に向けて多数のピンホール又はスリットの像を形成するための結像光束を光軸 AX に対して斜め方向より照射する照射系 60a と、それらの結像光束のウエハ W 表面での反射光束を受光する受光系 60b とからなる射入射方式の多点焦点位置検出系（以下、単に「焦点位置検出系」と呼ぶ）が設けられている。なお、本実施形態の焦点位置検出系（60a、60b）と同様の多点焦点位置検出系の詳細な構成は、例えば特開平 6-283403 号公報（対応米国特許第 5,448,332 号）等に表示されている。なお、上記公報等に記載の多点焦点位置検出系は、ウエハ W 上の露光領域 IA だけでなく、走査方向のウエハ W の起伏を先読みする機能等を有しているが、それらの機能は有していなくても良く、また、照射系 60a によって照射される光束の形状は、平行四辺形その他の形状であっても良い。

【0039】

主制御装置 50 では、走査露光時等に、受光系 60b からの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えば S カーブ信号に基づいて焦点ずれが零あるいは焦点深度内となるように、ウエハ W の Z 位置及び XY 面に対する傾斜を、ウエハステージ駆動部 56 を介して制御することにより、オートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。

【0040】

さらに、露光装置 100 は、ウエハステージ WST 上に保持されたウエハ W 上のアライメントマーク及び基準マーク板 FM 上に形成された基準マークの位置計測等に用いられるオフ・アクシス（off-axis）方式のアライメント系 ALG を備えている。このアライメント系 ALG としては、例えばウエハ上のレジストを感光させないブロードバンドな検出光束を対象マークに照射し、その対象マークからの反射光により受光面に結像された対象マークの像と不図示の指標の像とを撮像素子（CCD 等）を用いて撮像し、それらの撮像信号を出力する画像処理方式の FIA（Field Image Alignment）系のセンサが用いられる。なお、FIA 系に限らず、コヒーレントな検出光を対象マークに照射し、その対象マークから発生する散乱光又は回折光を検出したり、その対象マークから発生する 2 つの回折光（例えば同次数）を干渉させて検出したりするアライメントセンサを単独あるいは適宜組み合わせて用いることは勿論可能である。

【0041】

さらに、本実施形態の露光装置 100 では、図示は省略されているが、レチクル R の上方に、投影光学系 PL を介してレチクル R 上の一对のレチクルマークと対応する基準マーク板上の一对の第 1 基準マークとを同時に観察するための露光波長の光を用いた TTR（Through The Reticle）アライメント系から成る一对のレチクルアライメント系が設けられている。これらのレチクルアライメント系としては、例えば特開平 7-176468 号公報（対応する米国特許第 5,646,413 号）などに開示されるものと同様の構成のものが用いられる。

【0042】

前記制御系は、図 1 中、前記主制御装置 50 によって主に構成される。主制御装置 50 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダ

ム・アクセス・メモリ)等からなるいわゆるワークステーション(又はマイクロコンピュータ)等から構成され、前述した種々の制御動作を行う他、装置全体を統括して制御する。

【0043】

なお、本実施形態の露光装置100には、不図示のコータ・デベロッパ(以下、「C/D」と言う)がインラインにて接続されている。このC/Dは、ウエハに対するレジストの塗布を行うコータ(レジスト塗布)部、露光後のウエハを現像するデベロッパ(現像)部、及び塗布制御装置、現像制御装置を含んで構成され、塗布制御装置及び現像制御装置により、ウエハに対するレジスト塗布動作及び現像動作が制御される。

【0044】

また、露光装置100の主制御装置50は、荷電粒子線走査型の計測装置の一種である測長SEMを含んで構成されるSEMシステム80に通信路を介して接続されている。このSEMシステム80は、簡単に説明すると、例えば 10^{-5} Pa以上に保たれた電子ビーム鏡筒内で電磁界レンズにより一次ビームを収束して測長パターン上を照射し、照射面から放出される2次電子及び反射電子を捕集して、そのライン・プロファイルから測長パターン・エッジを検出してパターン寸法を計測するシステムである。

【0045】

SEMシステム80は、一例としてa)SEM部、b)TFE(Thermal Field Emission)高圧電源、集束レンズ及び対物レンズ電源、走査用偏向電源、Zセンサ制御系、2次電子検出器を統合するSEM制御系、c)ウエハ搬送、レーザ干渉計を搭載して高速ステージ駆動を管理するステージ制御系、d)2次電子信号と偏向信号を同期させて画像信号に転送する信号変換器、e)画像処理系(表示装置を含む)、f)システム全体を統括的に制御するメインコンピュータなどを含んで構成される。

【0046】

本実施形態では、SEMシステム80のメインコンピュータが、通信路を介して露光装置100の主制御装置50に接続されている。

【0047】

次に、本実施形態の調整方法でその像(レジスト像など)が線幅の計測対象となる計測用マークが形成された計測マスクとしての計測用レチクル R_T について、図2に基づいて説明する。この図2は、計測用レチクル R_T を、パターン面側から見た平面図である。この図2に示されるように、計測用レチクル R_T は、矩形のガラス基板から成り、そのパターン面の中央部に、遮光帯SBで囲まれる長方形のパターン領域PAが形成されている。パターン領域PAの内部には、合計13個の計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ が形成されている。これらの計測用マークは、Y軸方向に関して、3行に配置され、その中央の行に7つの計測用マーク $MP_4 \sim MP_{10}$ が等間隔で配置され、その他の行にそれぞれ3つの計測用マーク $MP_1 \sim MP_3$ 、 $MP_{11} \sim MP_{13}$ が等間隔で配置されている。

【0048】

各計測用マーク MP_j ($j=1 \sim 13$)は、図2に示されるように、計測用レチクル R_T 上でY軸方向に延びる設計上の線幅が例えば400nmの第1ラインパターン要素(又は第1マーク要素、以下では「縦線パターン要素」とも呼ぶ) P_V と、Y軸方向に対して角度 α (α は、ここでは 90° (又は 270°))図2における時計回りに回転した方向であるX軸方向に延びる設計上の線幅が例えば400nmの第2ラインパターン要素(又は第2マーク要素、以下では「横線パターン要素」とも呼ぶ) P_H とを含む。投影光学系PLの投影倍率を $1/4$ として、これら第1ラインパターン要素 P_V と第2ラインパターン要素 P_H とをウエハ上に転写すると、投影光学系PLに球面収差、非点収差などの諸収差が存在しない理想的な状態では、第1ラインパターン要素 P_V と第2ラインパターン要素 P_H の像として、線幅100nmのラインパターン像がそれぞれ得られることとなる。

【0049】

また、パターン領域PAの中心(レチクルセンタに一致)を通るX軸上のパターン領域PAの両外側には、レチクルアライメントマーク RM_1 、 RM_2 が形成されている。レチク

ルアライメントマーク RM_1 を中心として Y 軸方向の一側と他側に同一距離だけ離れて、レチクルアライメントマーク RM_3 、 RM_5 がそれぞれ形成されている。また、レチクルアライメントマーク RM_2 を中心として Y 軸方向の一側と他側に同一距離だけ離れて、レチクルアライメントマーク RM_4 、 RM_6 がそれぞれ形成されている。レチクルアライメントマーク RM_3 と RM_4 、 RM_5 と RM_6 とは、レチクルセンタを通る Y 軸に関して対称の配置となっている。この計測用レチクル R_T は、レチクルステージ RST 上にロードされた状態では、パターン面 (図 2 における紙面手前側の面) が、投影光学系 PL に対向する側の面となる。

【0050】

次に、本実施形態に係る露光装置の調整方法のうちの、露光装置 100 の主制御装置 50 により制御される動作、すなわち、露光装置 100 及び露光装置 100 にインラインにて接続されている C/D において行われる動作について、主制御装置 50 内の CPU の処理アルゴリズムを簡略化して示す図 3、図 4 のフローチャートに沿って、かつ適宜他の図面を参照しつつ説明する。

【0051】

この動作の前提として、レチクルステージ RST 上にはレチクルが載置されておらず、ウエハステージ WST 上にはウエハが載置されていないものとする。

【0052】

図 3 のステップ 102 では、計測用レチクル R_T のパターン転写のサブルーチンの処理を行う。このサブルーチンでは、まず、図 4 のステップ 202 において、不図示のレチクルローダを介してレチクルステージ RST 上に計測用レチクル R_T をロードする。

【0053】

次いで、ステップ 204 において、レチクルアライメント等の所定の準備作業を行う。具体的には、まず、ウエハステージ WST 上に設けられた基準マーク板 FM の表面に形成されている特定の一对の第 1 基準マークの中心が投影光学系 PL の光軸 AX とほぼ一致する基準位置にウエハステージ WST を移動させるとともに、レチクル R_T 上の一对のレチクルアライメントマーク RM_1 、 RM_2 の中心 (レチクルセンタ) が投影光学系 PL の光軸とほぼ一致する基準位置にレチクルステージ RST を移動させる。ここで、ウエハステージ WST の移動は、主制御装置 50 が、ウエハ干渉計 54W の計測値をモニタしつつ、ウエハステージ駆動部 56 を制御することで行われ、レチクルステージ RST の移動は、主制御装置 50 が、レチクル干渉計 54R の計測値をモニタしつつ不図示のレチクルステージ駆動部を制御することで行われる。以下においても同様である。

【0054】

次いで、前述の一对のレチクルアライメント系により照明光 IL を用いて基準マーク板 FM 上の特定の一对の第 1 基準マークとそれに対応する計測用レチクル R_T 上のレチクルアライメントマーク RM_1 、 RM_2 の投影像の相対位置検出を行なう。次いで、レチクルステージ RST 、ウエハステージ WST を相互に逆向きに Y 軸方向にステップ移動し、前述の一对のレチクルアライメント系により照明光 IL を用いて基準マーク板 FM 上の別の一对の第 1 基準マークとそれに対応する計測用レチクル R_T 上のレチクルアライメントマーク RM_3 、 RM_4 の投影像の相対位置検出を行なう。

【0055】

すなわち、このようにして、基準マーク板 FM 上の少なくとも 2 対の第 1 基準マークと対応する計測用レチクル R_T 上のレチクルアライメントマークとの相対位置を、レチクルステージ RST 、ウエハステージ WST を Y 軸方向にステップ移動しつつ、レチクルアライメント系を用いて計測することで、ウエハ干渉計の測長軸で規定されるウエハステージ座標系とレチクル干渉計の測長軸で規定されるレチクルステージ座標系との位置関係の検出、すなわちレチクルアライメントが行われる。なお、このレチクルアライメントではウエハステージ WST を移動させることなくレチクルステージ RST を移動するだけでも良い。

【0056】

また、例えば照明光 I_L の照射領域の非走査方向の幅が計測用レチクル R_T のパターン領域 PA の非走査方向の幅にほぼ一致するように、照明系 10 内の可動レチクルブラインドの非走査方向の開口幅を調整する。

【0057】

このようにして、所定の準備作業が終了すると、次のステップ 206 に移行し、前述の C/D から不図示のウエハローダを介して、ウエハステージ WST 上に計測用のウエハ（以下、「計測用ウエハ」とも呼ぶ） W_T をロードする。この場合、例えば、図 5（A）に示されるように、表面にレジストが塗布された計測用ウエハ W_T は、その外周部の一部に形成されたノッチ N が $-Y$ 方向を向いた状態（以下、「 0° の状態」とも呼ぶ）でウエハステージ WST 上にウエハホルダ 25 を介して載置されるものとする。

【0058】

次のステップ 208 では、ウエハ W_T に対する第 n 回目の露光であることを示す不図示のカウンタのカウント値 n を「1」に初期化する。

【0059】

次のステップ 210 では、第 n 回目（ここでは第 1 回目）の露光のための加速開始位置にウエハステージ WST を移動するとともに、計測用レチクル R_T の位置が加速開始位置となるように、レチクルステージ RST を移動する。

【0060】

次のステップ 212 では、レチクルステージ RST とウエハステージ WST の Y 軸方向に関する相対走査を開始する。そして、両ステージがそれぞれ目標走査速度に達し、等速同期状態に達すると、照明系 10 からの照明光 I_L によって計測用レチクル R_T のパターン領域 PA が照明され始め、走査露光が開始される。そして、計測用レチクル R_T のパターン領域 PA の異なる領域が照明光 I_L で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより走査露光が終了する。これにより、計測用レチクル R_T に形成されたパターン領域 PA が投影光学系 PL を介して計測用ウエハ W_T 上の露光対象領域に縮小転写される。

【0061】

次のステップ 214 では、前述のカウンタのカウント値 n を参照し、 $n = N$ か否か、すなわち予定されている N 個のパターン領域の転写像をウエハ W_T 上に形成するための露光が終了したか否かを判断する。ここでは、 $n = 1$ 、すなわち、最初（第 1 回目）の露光によってパターン領域 PA （すなわち、本例では 13 個の計測用マーク MP_j ）の転写像が 1 つだけウエハ W_T 上に形成されたのみであるので、ステップ 214 での判断は否定され、ステップ 216 に移行する。

【0062】

次いで、ステップ 216 では、前述のカウンタのカウント値 n を 1 インクリメントして（ $n \leftarrow n + 1$ ）、ステップ 210 に戻る。

【0063】

以下、ステップ 214 での判断が肯定されるまで、ステップ 210 → 212 → 214 → 216 のループの処理（判断を含む）を繰り返す。なお、図 5（A）には、 $n = 4$ の状態でステップ 212 が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態が示されている。

【0064】

そして、 N 回目の走査露光によって計測用ウエハ W_T 上に予定されている N 個（ここでは、 $N = 24$ とする）のパターン領域 PA （13 個の計測用マーク MP_j ）の転写像が形成されると、ステップ 218 に移行する。なお、図 5（B）には、ステップ 218 の処理が開始される直前の計測用ウエハ W_T の状態が示されている。また、図 5（A）、図 5（B）では 1 回の走査露光によるウエハ W_T 上での照明光 I_L の照射範囲（パターン領域 PA の転写像の形成領域）がショット領域 SA_n として表されており、本例ではウエハ W_T 上で互いに分離して設定される異なる 24 個のショット領域（例えば 26×33 mm のフィールドサイズ）にそれぞれパターン領域 PA の転写像が形成される。

【0065】

ステップ 218 では、不図示の駆動装置（例えば回転モータ）を介して、ウエハホルダ 25 を計測用ウエハ W_T を保持した状態で、Z 軸回りに 90° （例えば時計回りに 90° ）回転駆動する。これにより、計測用ウエハ W_T は、図 6（A）に示されるようにノッチ N が -X 方向を向いた状態（以下、「 90° の状態」とも呼ぶ）に設定される。

【0066】

次に、ステップ 220 ではカウント値 n を 1 インクリメントし（ $n \leftarrow n + 1$ ）、次のステップ 222 に移行する。

【0067】

ステップ 222 では、第 n 回目の露光（ここでは、図 6（A）に示される第 25 番目のショット領域 SA_{25} （パターン領域 PA の 25 個目の転写像）を形成するための露光）のための加速開始位置に、ウエハステージ WST を移動するとともに、計測用レチクル R_T の位置が加速開始位置となるように、レチクルステージ RST を移動する。

【0068】

次のステップ 224 では、前述のステップ 212 と同様にして走査露光を行い、計測用レチクル R_T のパターン領域 PA の転写像をウエハ W_T 上に形成する。ここでは、図 6（A）に示されるショット領域 SA_{25} にパターン領域 PA の転写像が形成される。このショット領域 SA_{25} は、先に形成されたショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ に対して 90° 回転した向きのショット領域である。

【0069】

次のステップ 226 では、カウンタ n を参照し、 $n = M$ か否か、すなわち予定されている全てのショット数 M （ここでは、 $M = 48$ とする）の露光が行われたか否かを判断する。ここでは、 $n = 25$ であるから、このステップ 226 での判断は否定され、ステップ 220 に戻る。

【0070】

その後、ステップ 226 における判断が肯定されるまで、ステップ $220 \rightarrow 222 \rightarrow 224 \rightarrow 226$ のループの処理（断を含む）を繰り返す。なお、図 6（A）には、 $n = 28$ の状態でステップ 224 の処理が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態が示されている。

【0071】

そして、計測用ウエハ W_T 上に予定されている全てのショット数 M （ $= 48$ ）のパターン領域 PA の転写が終了すると、このサブルーチンの処理を終了して、図 3 のメインルーチンのステップ 104 にリターンする。なお、図 6（B）には、ステップ 102 の計測用レチクル R_T のパターン転写のサブルーチンの処理が全て終了したときの、計測用ウエハ W_T の状態が示されている。この状態では、ウエハ中心を挟む左右の領域に、長手方向が 90° 異なるショット領域が 24 個ずつ形成されている。

【0072】

図 3 に戻り、次のステップ 104 では、上記ステップ 102 のサブルーチンで露光処理済みの計測用ウエハ W_T を、露光装置 100 にインラインにて接続された C/D に搬送する。この場合、計測用ウエハ W_T は、不図示のウエハアンローダを介してウエハステージ WST 上からアンロードされるとともに、ウエハ搬送系を介して C/D 内に搬送されるようになっている。

【0073】

次のステップ 106 では、C/D を構成するデベロッパ部を制御する現像制御装置に対して、計測用ウエハ W_T の現像処理を指示した後、ステップ 108 に進んで、計測用ウエハ W_T の現像が終了するのを待つ。

【0074】

この待ち時間の間に、C/D 側で計測用ウエハ W_T の現像が行われ、この現像の終了により、計測用ウエハ W_T 上には、図 6（B）に示されるようなショット領域 $SA_1 \sim SA_{48}$ にそれぞれパターン領域 PA が形成される。この場合、ショット領域 SA_1 には、図 7 に示されるように、13 個の計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ のレジスト像 $M_1 \sim M_{13}$ （以下、便

宜上「マーク M_j 」とも呼ぶ)が形成される。その他のショット領域 $SA_2 \sim SA_{48}$ についても同様である。このようなレジスト像(マーク) M_j が形成された計測用ウエハ W_T が露光装置100によるパターンの転写特性を計測するための試料となる。

【0075】

現像が終了し、現像制御装置からその旨の通知を受けることで、現像の終了を確認すると、ステップ110に進み、不図示のウエハ搬送系を介して、現像済みの計測用ウエハ W_T をSEMシステム80近傍の所定の場所に搬送し、本ルーチンの一連の処理を終了する。ここで、所定の場所とは、オペレータが現像済みのウエハを容易に取り出すことができ、かつその取り出したウエハをSEMシステム80の大気側のウエハ搬送系に搬入するのに適した場所であって、予め定められた場所を指す。

【0076】

その後、オペレータは、現像済みの計測用ウエハ W_T を、上記所定の場所から取り出してSEMシステム80の大気側のウエハ搬送系に搬入する。

【0077】

その後、オペレータの指示に従い、SEMシステム80によって、通常と同様の手順で、計測用ウエハ W_T を試料として、レジスト像中のパターンのサイズ(寸法)計測が行われる。

【0078】

この場合、オペレータの指示に従い、計測用ウエハ W_T が、SEMシステム80を構成する大気側の搬送系→ロードロック室→真空側の搬送系を経て、試料室内に搬入される。試料室内では、計測用ウエハ W_T は 0° の方向(これを基準方向とする)を向いている。

【0079】

このとき、オペレータは、SEMシステム80に対して、 0° の方向の計測用ウエハ W_T 上の全てのショット領域 $SA_1 \sim SA_{48}$ 内の全てのマーク $M_1 \sim M_{13}$ の基準方向に直交する計測方向に関するサイズの計測を指示する。ここで、計測方向とは、図6(B)におけるY軸方向に相当する。

【0080】

また、この場合におけるマーク(レジスト像)の計測方向に関するサイズとは、ショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ については、前述の計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ の第1ラインパターン要素(縦線パターン要素) P_V の像の線幅であり、ショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ については、前述の計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ の第2ラインパターン要素(横線パターン要素) P_H の像の線幅である。

【0081】

従って、上記のオペレータの指示に従い、SEMシステム80により計測用ウエハ W_T 上の全てのショット領域 $SA_1 \sim SA_{48}$ 内の全てのマーク $M_1 \sim M_{13}$ の画像(SEM画像)が、それぞれ取り込まれる。なお、48個のショット領域それぞれで13個のマークのレジスト像についてその全体の画像を取り込まなくても良く、例えばショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ ではマーク毎にその縦線パターン要素 P_V の像のみ、ショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ ではマーク毎にその横線パターン要素 P_H の像のみについてその画像を取り込むだけでも良い。

【0082】

次いで、SEMシステム80の画像処理系により、その取り込まれた計測用ウエハ W_T 上の全てのショット領域 $SA_1 \sim SA_{48}$ 内の全てのマーク $M_1 \sim M_{13}$ の画像それぞれに対して、エッジ検出処理を伴う画像処理がそれぞれ施され、ショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ については、前述の第1ラインパターン要素(縦線パターン要素) P_V の像(第1要素、第1部分、第1ライン要素)の線幅、及びショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ については、前述の第2ラインパターン要素(横線パターン要素) P_H の像(第2要素、第2部分、第2ライン要素)の線幅が、それぞれ計測され、その計測結果がSEMシステム80のメインコンピュータの内部メモリに記憶されるとともに、表示装置の画面上に表示される。

【0083】

このとき、表示装置の画面上には、第1ラインパターン要素（縦線パターン要素） P_V の像の $24 \times 13 = 312$ 個の線幅の計測値（以下、「線幅値」と記す）及び第2ラインパターン要素（横線パターン要素） P_H の像の312個の線幅値が、一度に、又は画面表示の切り換えにより表示される。

【0084】

その後、オペレータは、SEMシステム80による計測結果の表示画面を見て、必要な演算処理、例えばマーク M_j （ $j = 1 \sim 13$ ）それぞれの第1ラインパターン要素 P_V の像の線幅値 LW_V の24ショットでの平均値 $AVE(LW_V)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、及び $AVE(LW_V)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）のうちの最大値と最小値との差 $\Delta AVE(LW_V)$ などの算出を、SEMシステム80のメインコンピュータに指示する。同様に、オペレータは、SEMシステム80による計測結果の表示画面を見て、例えばマーク M_j （ $j = 1 \sim 13$ ）それぞれの第2ラインパターン要素 P_H の像の線幅値 LW_H の24ショットでの平均値 $AVE(LW_H)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、及び $AVE(LW_H)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）のうちの最大値と最小値との差 $\Delta AVE(LW_H)$ などの算出を、SEMシステム80のメインコンピュータに指示する。さらにオペレータは、先の平均値 $AVE(LW_V)_j$ と平均値 $AVE(LW_H)_j$ との差 $\Delta(LW_{V-H})_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）の算出も、SEMシステム80のメインコンピュータに指示する。

【0085】

ここで、 $\Delta(LW_{V-H})_j$ はマーク M_j の第1ラインパターン要素 P_V の像と第2ラインパターン要素 P_H の像との差（V/H差）、すなわち線幅ばらつき（サイズのばらつき）であり、 $\Delta AVE(LW_V)$ 、 $\Delta AVE(LW_H)$ は、第1ラインパターン要素、第2ラインパターン要素の像の線幅（サイズ）の面内均一性の指標値である。

【0086】

上記のオペレータの指示に応じ、SEMシステム80のメインコンピュータにより、 $AVE(LW_V)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、 $\Delta AVE(LW_V)$ 、 $AVE(LW_H)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、 $\Delta AVE(LW_H)$ 、 $\Delta(LW_{V-H})_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）が算出され、これらの算出結果が表示装置の画面上に表示される。この計測結果の表示がなされると、オペレータは、その表示画面を見て、その計測結果の情報を、露光装置100の主制御装置50に送信するように、SEMシステム80のメインコンピュータに指示する。これにより、SEMシステム80のメインコンピュータから上記の計測結果の情報が露光装置100に送られ、露光装置の100の主制御装置50は、上記の計測結果の情報を受信し、メモリ内に記憶する。

【0087】

本実施形態では、デバイスパターンの転写の際には、レチクルアライメント及びアライメント系ALGのベースライン計測などの準備作業の後、ステップ・アンド・スキャン方式で、レチクルR上に形成されたデバイスパターンが投影光学系PLを介してウエハW上の複数のショット領域にそれぞれ転写される。なお、このような一連の動作は、通常のスキヤナと同様であるから、詳細説明については省略する。

【0088】

但し、露光装置の100の主制御装置50は、先にメモリ内に記憶した上記の計測結果の情報 $AVE(LW_V)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、 $\Delta AVE(LW_V)$ 、 $AVE(LW_H)_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）、 $\Delta AVE(LW_H)$ 、及び $\Delta(LW_{V-H})_j$ （ $j = 1 \sim 13$ ）のうち、例えばその対応する許容範囲を超える少なくとも1つの情報に基づいて、所定の演算プログラムに従って計算を行い、この計算結果に基づいて結像特性調整装置48を介して投影光学系PLを構成するレンズ131～134の少なくとも1つを駆動して、投影光学系PLの結像特性を調整する。また、走査露光中には、必要に応じてウエハステージWST、レチクルステージRSTの速度比を微調整する。このような調整により、露光装置100によるパターンの転写特性が要求される仕様を満足するレベルに調整される。すなわち、露光フィールド（ウエハ W_T 上での1回の走査露光範囲であり、前述のショット領域 SA_n に対応

）内の異なる位置（マーク $M_1 \sim M_{13}$ それぞれに対応するその形成位置）における、縦横線の各線幅、縦横線の線幅差 $\Delta(LW_{V-H})_j = AVE(LW_V)_j - AVE(LW_H)_j$ 及び縦横線の各線幅の面内均一性などが、全て仕様を満足するような露光装置の調整が行われる。

【0089】

以上詳細に説明したように、本実施形態に係る露光装置のパターン転写特性の計測方法によると、計測用レチクル R_T を露光装置100に搭載して露光を行い（図4のステップ212参照）、計測用レチクル R_T に形成されたパターン領域 PA を計測用ウエハ W_T 上に転写した際に計測用ウエハ W_T 上に形成された計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ の第1の転写像（図6（B）のショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ のマーク $M_1 \sim M_{13}$ ）の画像がSEMシステム80により取り込まれる。また、計測用レチクル R_T に対するウエハ W_T の角度が、上記第1の転写像が形成された際から所定角度 90° 変化した状態で露光を行い（ステップ224参照）、前記パターン領域 PA をウエハ W_T 上に転写した際に計測用ウエハ W_T 上に形成された計測用マーク $MP_1 \sim MP_{13}$ の第2の転写像（図6（B）のショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ のマーク $M_1 \sim M_{13}$ ）の画像がSEMシステム80により取り込まれる。そして、SEMシステム80により、取り込まれた前記第1の転写像の画像と前記第2の転写像の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理がそれぞれ施され、計測用マークの第1の転写像及び第2の転写像それぞれの基準方向に直交する計測方向（図6（B）におけるY方向）に関するサイズ、より具体的には、ショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ についての前述の第1ラインパターン要素（縦線パターン要素） P_V の像（第1要素、第1部分、第1ライン要素）の線幅値、及びショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ 内部のマーク $M_1 \sim M_{13}$ についての前述の第2ラインパターン要素（横線パターン要素） P_H の像（第2要素、第2部分、第2ライン要素）の線幅値が計測される。

【0090】

すなわち、本実施形態によると、計測用マークの第1及び第2の転写像は、例えばSEMシステム80による画像取込が実質的に同一条件で行われるようにウエハ W_T 上にそれぞれ形成されるので、SEMシステム80によりそれぞれ取り込まれた第1及び第2の転写像の画像に対して、いずれにも回転を加えることなくエッジ検出処理を伴う画像処理が施され、計測用マークの第1の転写像及び第2の転写像それぞれの計測方向のサイズが計測される。そして、この結果として、画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因する計測用マークの像のサイズ計測精度の低下を防止することができ、結果的に露光装置100によるパターンの転写特性を正確に計測（評価）することが可能となる。

【0091】

また、本実施形態では、SEMシステム80により、オペレータの指示に応じ、マーク M_j （ $j=1 \sim 13$ ）それぞれの第1ラインパターン要素 P_V の像の線幅値 LW_V の24ショットでの平均値 $AVE(LW_V)_j$ （ $j=1 \sim 13$ ）、 $AVE(LW_V)_j$ （ $j=1 \sim 13$ ）のうちの最大値と最小値との差 $\Delta AVE(LW_V)$ 、マーク M_j （ $j=1 \sim 13$ ）それぞれの第2ラインパターン要素 P_H の像の線幅値 LW_H の24ショットでの平均値 $AVE(LW_H)_j$ （ $j=1 \sim 13$ ）、 $AVE(LW_H)_j$ （ $j=1 \sim 13$ ）のうちの最大値と最小値との差 $\Delta AVE(LW_H)$ 、及びマーク M_j の第1ラインパターン要素 P_V の像と第2ラインパターン要素 P_H の像との差（V/H差） $\Delta(LW_{V-H})_j$ （ $j=1 \sim 13$ ）なども計算され、この計算結果が、露光装置100の主制御装置50に送られる。

【0092】

そして、上記の計測結果に基づいて前述の如くして露光装置100の調整が行われる。従って、露光装置100によるパターンの転写特性を精度良く調整することが可能となっている。

【0093】

なお、上記実施形態では、転写の途中では、ウエハを回転させることなく、所定ショット数分だけ、計測用レチクル R_T の計測マーク MP_j をウエハ上に転写し、そのウエハを現像後に、SEMシステム80を用いてその現像後のウエハ上のレジスト像（マーク） M_j

のサイズ計測を行う際に、その計測を2回に分けて行っても良い。この場合、一例として次のような手順で、計測が行われる。

- 1) 例えば、ウエハが基準方向に向いた第1の状態、SEMシステム80によりマーク $M_1 \sim M_{13}$ の第1の画像を取り込む。
- 2) 次に、一旦ウエハを試料室から取り出し、上記第1の状態からウエハを所定角度 α ($= 90^\circ$) 回転した状態で、試料室内に搬入する。その状態(第2の状態)で、SEMシステム80によりマーク $M_1 \sim M_{13}$ の第2の画像を取り込む。
- 3) そして、SEMシステム80に指示を与え、第1の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、マーク M_j の前記基準方向に直交する第1方向に関する第1のサイズ(すなわち、マーク M_j の第1要素(第1ライン要素、第1部分)の線幅)を計測する。
- 4) 次に、SEMシステム80に指示を与え、第2の画像に対してエッジ検出処理を伴う画像処理を施して、マーク M_j の第1方向に対して角度 α ($= 90^\circ$) 回転した第2方向に関する第2のサイズ(すなわち、マーク M_j の第2要素(第2ライン要素、第2部分)の線幅)を計測する。

【0094】

このようにすると、ウエハが基準方向に向いた第1の状態、SEMシステム80により取り込まれたマーク M_j の第1の画像に対しては、エッジ検出処理を伴う画像処理が施されて、マーク M_j の前記基準方向に直交する第1方向に関する第1のサイズが計測され、また、前記第1の状態からウエハを所定角度 α ($= 90^\circ$) 回転した第2の状態、SEMシステム80により取り込まれたマーク M_j の第2の画像に対しては、エッジ検出処理を伴う画像処理が施され、マーク M_j の第2方向に関する第2のサイズが計測される。すなわち、SEMシステム80による画像取り込み時のウエハの向きに応じて、エッジ検出処理を伴う画像処理が施されるので、画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因するマークのサイズ計測精度の低下を防止することができる。

【0095】

なお、SEMシステム80において、試料室内に入れたウエハを計測の途中で取り出すことには、例えば計測時間などを考慮すると、現実には困難を伴う場合が殆どである。従って、この計測の途中でウエハを回転させる方法は、光学顕微鏡などの他の計測装置を用いた計測の場合に有効である。

【0096】

但し、SEMシステム80に、ウエハを回転させる機構を、取り付けることができるのであれば、上記方法は、適用が可能である。

【0097】

また、上記実施形態では、計測用レチクル R_T 上の計測用マーク MP_j を構成する第1ラインパターン要素の延びる向きに対して角度 $\alpha = 90^\circ$ 回転した向きに第2ラインパターン要素が延びる場合について説明したが、上記角度 α は、 $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ の範囲の角度であれば、いかなる角度であっても良い。すなわち、第1ラインパターン要素と第2ラインパターン要素を含んで計測用マークを構成する場合には、第1ラインパターン要素と第2ラインパターン要素とは、異なる向きに延びていれば良い。但し、角度 α を 90° 以外の角度にする場合には、前述したステップ218に代えて、ウエハホルダを角度 α 回転するステップの処理を行い、回転後の計測用ウエハ W_T の中心とノッチとを結ぶ線分の方が、計測用レチクル上の第2ラインパターン要素の延びる方向に一致させる必要がある。このとき、回転前のウエハ W_T はその中心とノッチとを結ぶ線分の方が、第1ラインパターン要素が延びる方向と一致するように設定されている。

【0098】

なお、前述のショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ では少なくともマーク M_j の第1及び第2要素の一方は計測方向(又は延設方向、周期方向など)が転写特性を計測すべき異なる2方向(第1及び第2方向、通常はX、Y方向)の一方と実質的に一致し、前述のショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ では少なくとも第1及び第2要素の他方は計測方向がその異なる2方向の

他方と実質的に一致するように、ショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ に対する第1露光と、ショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ に対する第2露光とによってウエハ W_T 上にマーク M_j が形成される。このとき、レチクル R_T 上で計測用マーク MP_j の第1及び第2マーク要素（縦線パターン要素 P_V 及び横線パターン要素 P_H ）はその計測方向（又は延設方向、周期方向など）の交差角が前述の異なる2方向の交差角とほぼ等しくなるように形成されることが好ましい。この場合、計測用マーク MP_j の第1及び第2マーク要素の計測方向をそれぞれ異なる2方向とほぼ一致させて第1及び第2露光を行なうことによって、第1露光と第2露光とでウエハ W_T の回転方向の位置（回転角）を除き、計測用マーク MP_j を含む露光装置によるその転写条件を同一に設定することができ、計測用マーク MP_j の転写像であるウエハ W_T 上のマーク M_j の異なる2方向に関する線幅（サイズ）をそれぞれ精度良く計測することが可能となる。なお、レチクル R_T 上の計測用マーク MP_j の第1及び第2マーク要素は必ずしもその計測方向の交差角が異なる2方向の交差角と一致していなくても良い。この場合、前述の第1露光では第1及び第2マーク要素の一方のみでその計測方向を異なる2方向の一方とほぼ一致させ、前述の第2露光では第1及び第2マーク要素の他方のみでその計測方向を異なる2方向の他方とほぼ一致させれば良い。

【0099】

また、上記実施形態では、前述の第1露光によって形成されるマーク（第1マーク） M_j の第1及び第2要素の一方と、前述の第2露光によって形成されるマーク（第2マーク） M_j の第1及び第2要素の他方とでその計測方向がほぼ一致する、すなわちウエハ W_T 上で第1マーク M_j と第2マーク M_j とが転写特性を計測すべき異なる2方向の交差角とほぼ同一角度だけ回転するように、ウエハ W_T を異なる2方向の交差角とほぼ同一角度だけ回転させることとしている。しかしながら、前述の第1露光で計測用マーク MP_j の第1及び第2マーク要素の一方が異なる2方向の一方、及び前述の第2露光でその第1及び第2マーク要素の他方が異なる2方向の他方とほぼ一致していれば、ウエハ W_T の回転角を異なる2方向の交差角と一致させなくても良い。このとき、第1マーク M_j の第1及び第2要素の一方の計測方向と、第2マーク M_j の第1及び第2要素の他方の計測方向との回転角（回転誤差）が、SEMシステム80で回転方向に関する許容値を超えている場合には、SEMシステム80にてウエハ W_T を回転させることが好ましい。

【0100】

また、上記実施形態では、計測用レチクル R_T 上の計測用マーク MP_j が第1ラインパターン要素と第2ラインパターン要素とから成り、その計測用マーク MP_j の転写像であるウエハ W_T 上の転写像であるマーク M_j が第1ラインパターン要素の像である第1要素（第1部分、第1ライン要素）と第2ラインパターン要素の像である第2要素（第2部分、第2ライン要素）とから成る場合について説明したが、サイズ計測の対象となるマークは、ラインパターンの組み合わせに限らず、枠状マークや多角形状マーク（例えばともに四角形状）などでも良いし、マーク M_j の第1要素と第2要素とが接続、交差、あるいは部分的に重畳していても良い。また、そのマークは孤立パターンに限られるものでなく、密集パターン（例えばライン・アンド・スペースパターンなどの周期パターン）などでも良い。要は、交差する2方向に関するサイズの計測が可能な形状であれば良い。

【0101】

なお、ウエハ W_T 上のマーク M_j （レチクル R_T の計測用マーク MP_j ）の要素として、例えば矩形（方形）状マークを用いるとき、マーク M_j が1つの矩形状マークのみからなるものであっても、前述の異なる2方向に関するマーク M_j の線幅（サイズ）をそれぞれ計測可能であるため、マーク M_j の第1及び第2要素（計測用マーク MP_j の第1及び第2マーク要素）は同一の要素（矩形状マークなど）となる。

【0102】

また、上記実施形態ではX、Y方向に関するマーク M_j の線幅（サイズ）を計測するものとしたが、線幅の計測方向はX、Y方向と少なくとも一方が異なる2方向でも良いし、2つではなく3つ以上、例えばX、Y方向を45°回転させた2方向との計4方向でも構わない。このとき、線幅計測に用いられるウエハ W_T 上のマーク M_j （レチクル R_T の計測

用マーク MP_j)の要素数は2つでなく4つ(ただし、矩形状マークなどでは2つ)となる。

【0103】

また、上記実施形態では、計測装置として、SEMシステムを用いる場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものでないことは勿論である。本発明は、電子線以外の荷電粒子線を測定対象に対して走査して計測を行う、荷電粒子線走査型の計測装置は勿論、光学顕微鏡などの他の計測装置などであっても良い。また、計測装置は画像処理方式に限定されるものでなく他の方式でも構わない。さらに、例えばX、Y方向でそれぞれ独立に線幅などを計測可能、特にX方向とY方向とで計測方式や構成などが異なる計測装置を使用する場合に本発明は特に有効である。

【0104】

なお、上記実施形態では、計測用マーク MP_j の第1の転写像をウエハ W_T 上に形成するための第1転写工程(ステップ212)の後に、ウエハホルダを回転し(ステップ218)、その後に計測用マーク MP_j の第2の転写像をそのウエハ W_T 上の異なる位置に形成する第2転写工程(ステップ224)を行い、その後にその計測用ウエハ上の転写像をSEMにて計測するものとしたが、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、ウエハホルダを回転する代わり、レチクルステージRST上に回転可能なレチクルホルダを設けて、これを回転させるようにしても良いし、ウエハホルダ、レチクルホルダの双方を回転させるようにしても良い。

【0105】

また、ホルダそのものを回転させる代わりに、ウエハなどを保持して上下動可能な支持部材(例えば搬送系(ローダ)とホルダとの間でウエハなどの受け渡しを行うセンターアップピンなど)を回転可能としても良いし、ウエハなどを回転させる代わりに、あるいはそれと組み合わせて、ローダあるいは専用機構などを利用した載せ替えによりウエハなどを回転させるようにしても良い。

【0106】

また、上記実施形態では第1露光によって形成されるショット領域 $SA_1 \sim SA_{24}$ と第2露光によって形成されるショット領域 $SA_{25} \sim SA_{48}$ とを図6(B)では、ウエハ W_T 上で左右の領域に分けて配置するものとしたが、ウエハ W_T の表面に塗布されるレジストの塗りむら(レジスト膜厚の不均一性)などに起因して線幅計測精度が低下することが考えられる。そこで、例えば第1露光によって形成されるショット領域と、第2露光によって形成されるショット領域とをウエハ上で交互に配置することで、塗りむらなどに起因する計測精度の低下を低減することが好ましい。

【0107】

さらに、上記実施形態ではレチクル R_T の計測用マーク MP_j が転写される複数のショット領域をウエハ W_T 上で互いに重ならないように配置するものとしたが、線幅計測の対象となる前述の第1露光によって形成される第1マーク M_j の第1及び第2要素の一方と、前述の第2露光によって形成される第2マーク M_j の第1及び第2要素の他方とが重ならなければ、ウエハ上で複数のショット領域を部分的に重なるように配置しても良い。また、上記実施形態では第1及び第2露光でそれぞれ複数のショット領域にレチクル R_T の計測用マーク MP_j の転写像を形成するものとしたが、そのショット数は複数でなく1つでも良いし、第1露光と第2露光とで同数としなくても良い。なお、前述した転写特性の計測に用いるレチクル R_T の計測用マーク MP_j の第1マーク要素と第2マーク要素とは、その配置方向(計測方向)を除いて同一構成、かつその転写条件も同一としたが、その構成と転写条件の少なくとも一方を異ならせても良い。また、計測専用のレチクル R_T を用いる代わりに、デバイス製造で使用されるレチクルに前述の計測用マーク MP_j を形成して用いても良い。さらに、前述のショット領域 SA_n 毎に複数の計測用マーク MP_j の転写像を形成するものとしたが、その配置(ショット領域内での位置)はこれに限られるものでなく任意で良いし、その数も複数でなく1つでも良い。

【0108】

また、上記実施形態では露光装置の転写特性としてV/H差や面内均一性を求めるものとしたが、転写特性はこれらに限られるものでなく、例えば投影光学系PLの結像特性（コマ収差、非点収差などの諸収差）や走査露光における同期精度（同期誤差）などでも良い。さらに、レチクルR_Tの計測用マークMP_jのマーク要素としてライン・アンド・スペースパターンなどの周期パターンを用い、その転写像の複数の像それぞれで線幅を計測することで、例えばその線幅の最大値と最小値との差を線幅ばらつきとして求めても良い。また、ウエハ上に既に形成されているマークに対してレチクルR_Tの計測用マークMP_jを重ね合わせて転写し、例えばその2つのマークの相対位置（間隔など）を計測することで、重ね合せ精度（トータルオーバーレイ）を転写特性として求めても良い。

【0109】

さらに上記実施形態では、前述の転写特性に基づいて投影光学系PLの少なくとも1つの光学素子（レンズエレメント）を移動してその結像特性を調整するものとしたが、例えば投影光学系の全体又はその一部（光学素子単位、鏡筒単位など）の交換を行う、あるいは投影光学系の少なくとも1つの光学素子を取り出してその再加工を行うようにしても良い。また、投影光学系の調整では光学素子の位置（他の光学素子との間隔を含む）や傾斜などを変更するだけでも良いし、特に光学素子がレンズエレメントである時はその偏芯を変更したり、あるいは光軸を中心として回転させても良い。さらに、前述の転写特性として投影光学系の結像特性を求める時はその結像特性と、既知の投影光学系PL単体の波面収差（単体は面収差）とに基づいて、投影光学系の波面収差を推定し、この波面収差及びツェルニケ感度表(Zernike Sensitivity)、並びに波面収差変化表（各光学素子の単位駆動量当たりの波面収差を展開したフリンジツェルニケ多項式の各項の係数の変化量との関係を示す変化表）などを用いて、所定のメリット関数を解くことで、結像特性を最適化する光学素子の駆動量を求め、結像特性の調整を行なうようにしても良い。なお、結像特性の計測結果から波面収差を推定する場合には、基準となる露光条件下での結像特性と計測した結像特性との差が、ツェルニケ感度表と波面収差変化表と調整量の補正量（単体波面収差とon bodyの波面収差のずれが調整用光学素子の調整量のずれに対応すると仮定した場合の調整量のずれ）との積に一致するとの関係式を用いて、波面収差の補正量を求め、その補正量と単体波面収差とに基づいて、波面収差を算出するのである。

【0110】

なお、上記実施形態における転写特性の計測（及び露光装置の調整）は、露光装置のメンテナンス時に行なっても良いし、クリーンルームに露光装置を搬入してその立ち上げを行なうときでもよく、その実施時期（タイミング）は任意で構わない。

【0111】

なお、上記実施形態では、ウエハに対するパターンの転写以後の処理は、オペレータによるマニュアル作業を含む場合について説明したが、露光装置100とSEMシステム80とを、内部にウエハ搬送系を内蔵したインライン・インタフェース部を介して接続し、これら露光装置100、SEMシステム80及びインライン・インタフェース部の全てを統括的に制御するホストコンピュータを設けることとしても良い。この場合には、該ホストコンピュータによって実行されるプログラムにより、前述した計測用レチクルR_Tのパターンの計測用ウエハへの転写、その転写後の計測用ウエハの現像、インライン・インタフェース部を介してのその現像済みの計測用ウエハのSEMシステム80への搬送、SEMシステム80による計測、その計測結果に基づく、露光装置100のパターン転写特性の調整の全てを、全自動にて行うようにしても良い。

【0112】

なお、上記実施形態では、パターンの転写特性が計測される露光装置が、スキャナである場合を説明したが、本発明の転写特性計測方法は、スキャナに限らず、ステッパなどの静止型露光装置にも同様に適用できる。

【0113】

また、露光装置の露光対象である物体は、上記の実施形態のように半導体製造用のウエハに限定されることなく、例えば、液晶表示素子、プラズマディスプレイや有機ELなど

のディスプレイ装置の製造用の角型のガラスプレートや、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（ＣＤなど）、マスク又はレチクルなどを製造するための基板であっても良い。

【0114】

また、上記実施形態の露光装置における投影光学系の倍率は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも良いし、投影光学系ＰＬは屈折系のみならず、反射系及び反射屈折系のいずれでも良いし、その投影像は倒立像及び正立像のいずれでも良い。

【0115】

また、照明光ＩＬは、ＡｒＦエキシマレーザ光（波長１９３ｎｍ）、ＫｒＦエキシマレーザ光（波長２４８ｎｍ）や、Ｆ₂レーザ光（波長１５７ｎｍ）などであっても良い。投影光学系としては、ＫｒＦエキシマレーザ光、ＡｒＦエキシマレーザ光などの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英やホタル石などの遠紫外線を透過する材料を用い、Ｆ₂レーザ光などを用いる場合はホタル石その他のフッ化物結晶を用いる必要がある。

【0116】

また、上記実施形態では、露光装置の照明光ＩＬとしては波長１００ｎｍ以上の光に限らず、波長１００ｎｍ未満の光を用いても良いことはいうまでもない。例えば、近年、７０ｎｍ以下のパターンを露光するために、ＳＯＲやプラズマレーザを光源として、軟Ｘ線領域（例えば５～１５ｎｍの波長域）のＥＵＶ（Extreme Ultraviolet）光を発生させるとともに、その露光波長（例えば１３．５ｎｍ）の下で設計されたオール反射縮小光学系及び反射型マスクを用いたＥＵＶ露光装置の開発が行われている。この装置においては、円弧照明を用いてマスクとウエハを同期走査してスキャン露光する構成が考えられるので、かかる装置も本発明の転写特性計測方法により、パターンの転写特性を計測することができる。さらに、例えば国際公開ＷＯ 99/49504号パンフレットなどに開示される、投影光学系ＰＬとウエハとの間に液体（例えば純水など）が満たされる液浸型露光装置、あるいはステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、又はプロキシミティ方式の露光装置なども、本発明の転写特性計測方法により、パターンの転写特性を計測することができる。

【0117】

また、電子線又はイオンビームなどの荷電粒子線を用いる露光装置も、本発明の転写特性計測方法により、パターンの転写特性を計測することができる。なお、電子線露光装置は、ペンシルビーム方式、可変成形ビーム方式、セルプロジェクション方式、ブランキング・アパーチャ・アレイ方式、及びマスク投影方式のいずれであっても良い。

【0118】

なお、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した調整方法によりパターンの転写特性が調整される上記実施形態の露光装置で、マスクに形成されたパターンを感光物体上に転写するリソグラフィステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。この場合、リソグラフィステップで、パターンの転写特性が調整される上記実施形態の露光装置が用いられるので、高集積度のデバイスを歩留り良く製造することができる。

【産業上の利用可能性】

【0119】

以上説明したように、本発明の計測方法は、物体上に形成されたマークのサイズの情報を計測するのに適している。また、本発明の転写特性計測方法は、露光装置によるパターンの転写特性を計測するのに適している。また、本発明の露光装置の調整方法は、露光装置の調整に適している。また、本発明のデバイス製造方法は、デバイスの製造に適している。

【図面の簡単な説明】

【0120】

【図１】一実施形態に係る露光装置を示す概略図である。

【図 2】計測用レチクルをパターン面側から見た平面図である。

【図 3】露光装置によるパターンの転写特性の計測方法の一部の処理を行う際の露光装置の主制御装置内の CPU の処理アルゴリズムを簡略化して示すフローチャートである。

【図 4】図 3 のステップ 1 0 2 のサブルーチンの処理の一例を示す図である。

【図 5】図 5 (A) は、第 4 ショット目までのパターン転写処理が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態を示す図、図 5 (B) は、第 2 4 ショット目までのパターン転写処理が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態を示す図である。

【図 6】図 6 (A) は、第 2 8 ショット目までのパターン転写処理が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態を示す図、図 6 (B) は、全 4 8 ショットのパターン転写処理が終了したときの計測用ウエハ W_T の状態を示す図である。

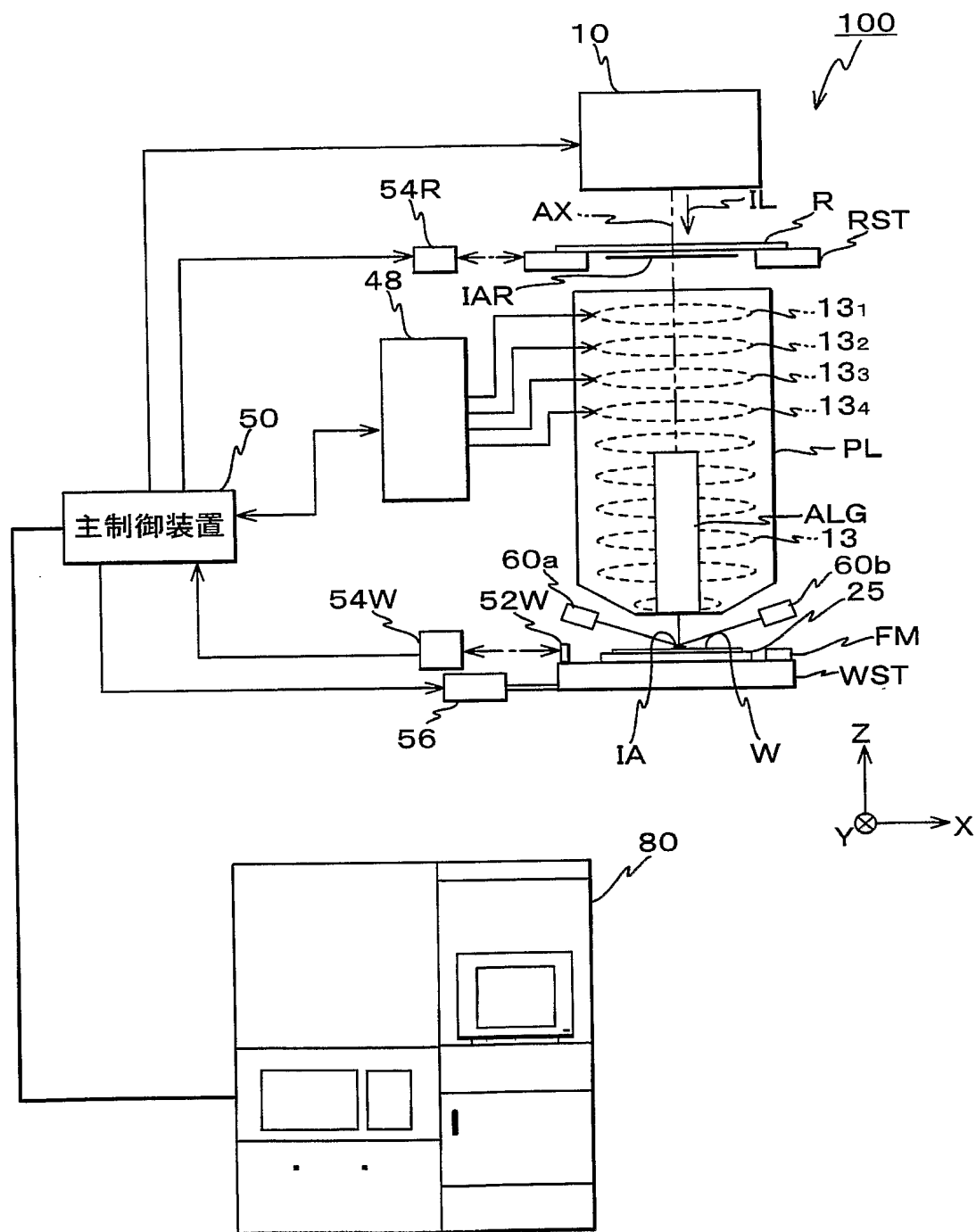
【図 7】計測用ウエハ W_T 上のショット領域 $S A_1$ に形成される計測用マーク $M P_1 \sim M P_{13}$ のレジスト像 $M_1 \sim M_{13}$ を示す図である。

【符号の説明】

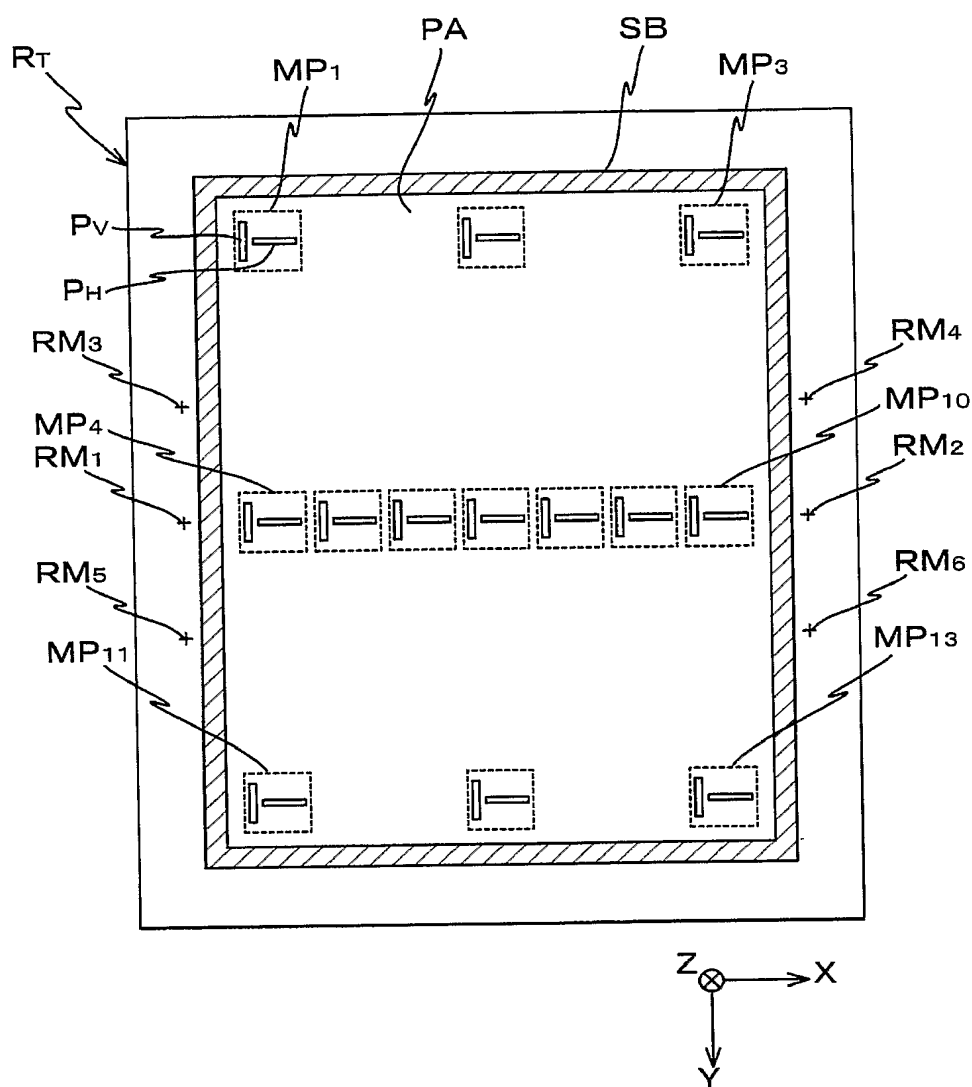
【 0 1 2 1 】

8 0 … S E M システム (計測装置)、1 0 0 … 露光装置、R … レチクル (マスク)、W … ウエハ (物体)、 $M_1 \sim M_{13}$ … マーク、P A … パターン領域、 R_T … 計測用レチクル (計測マスク)、 P_V … 第 1 ラインパターン要素、 P_H … 第 2 ラインパターン要素。

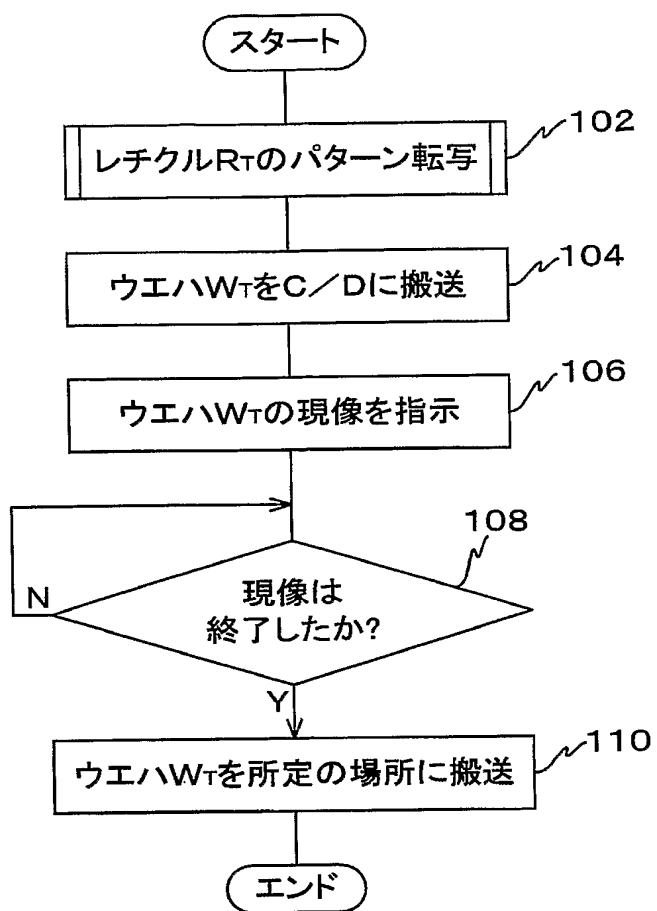
【書類名】 図面
【図 1】



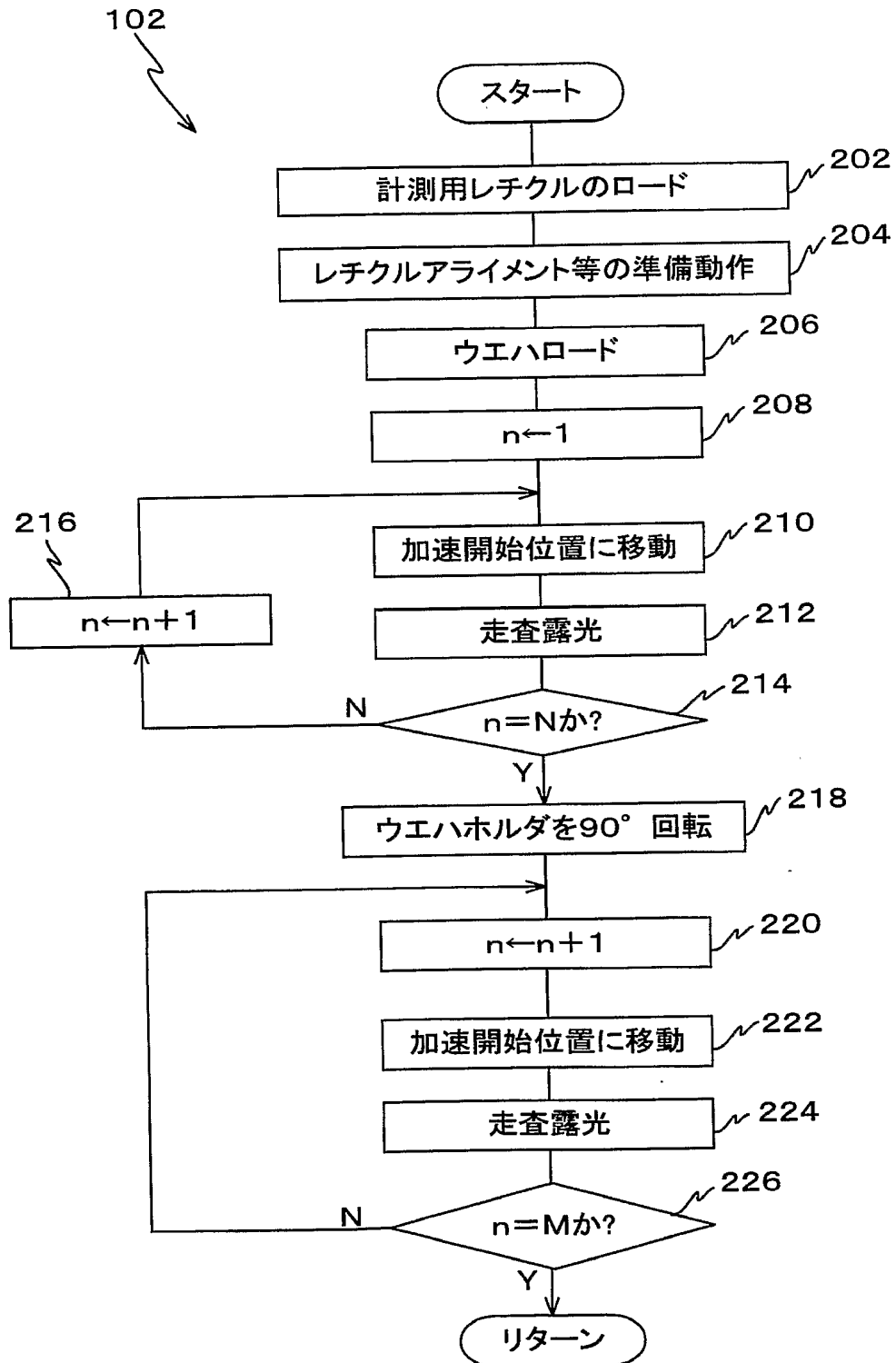
【図 2】



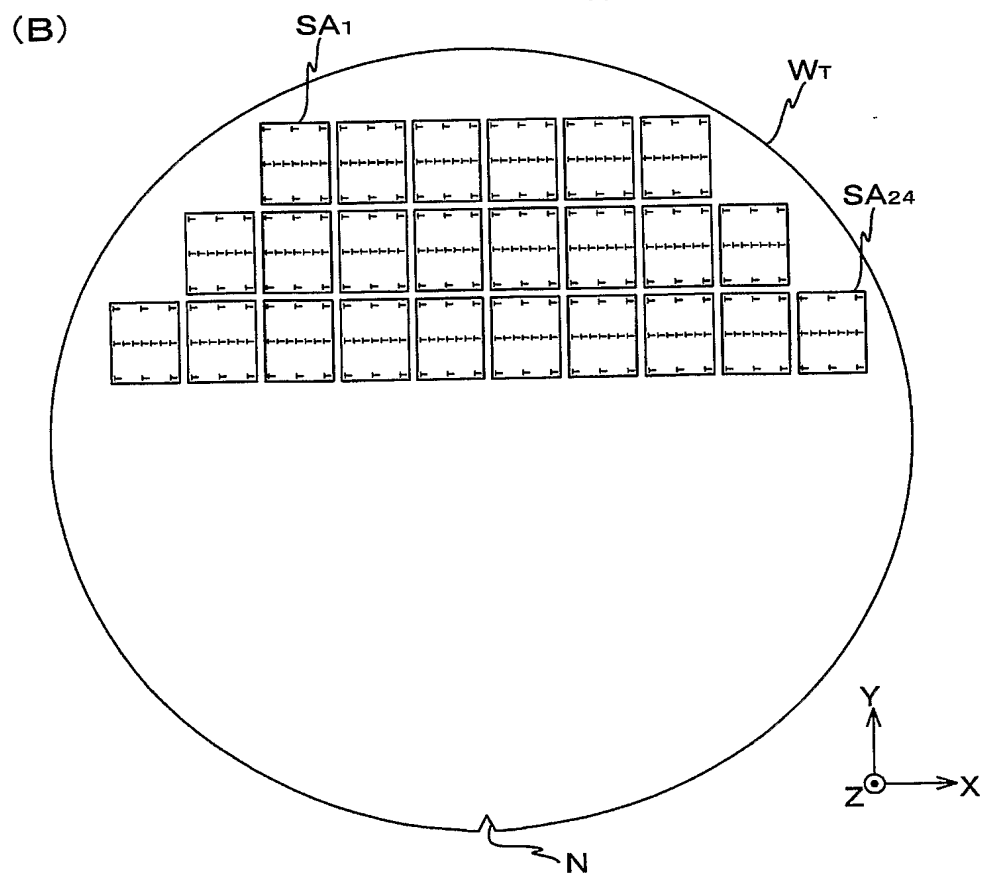
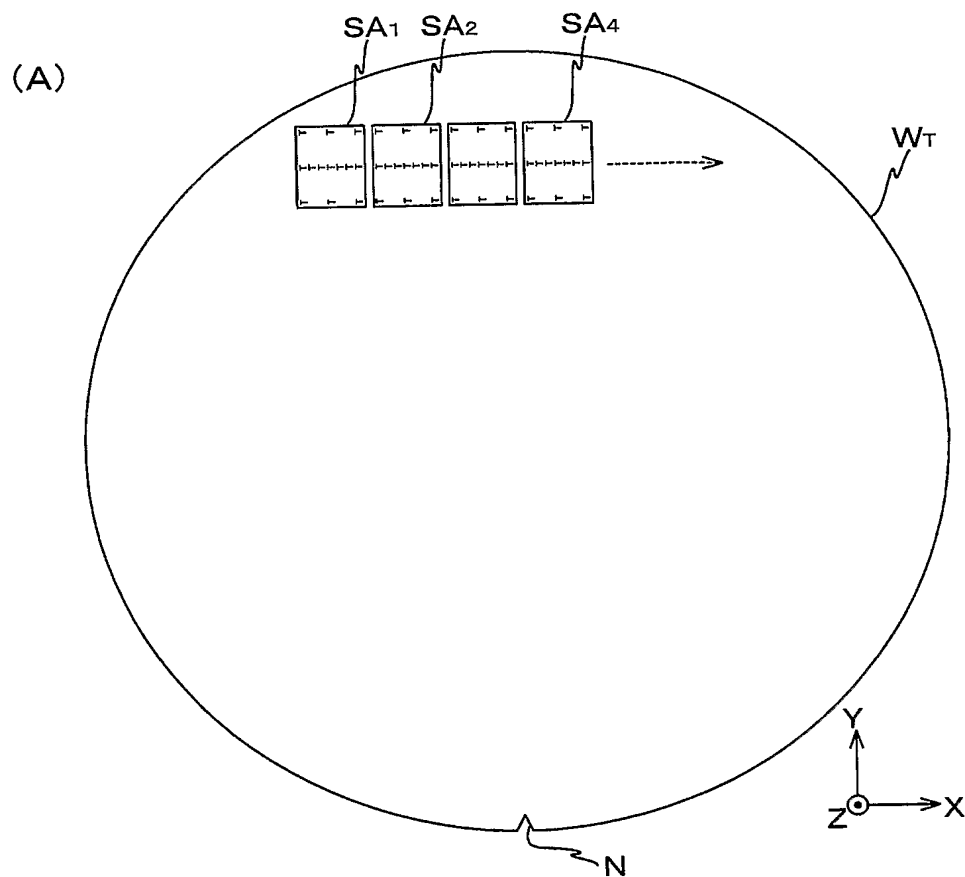
【図 3】



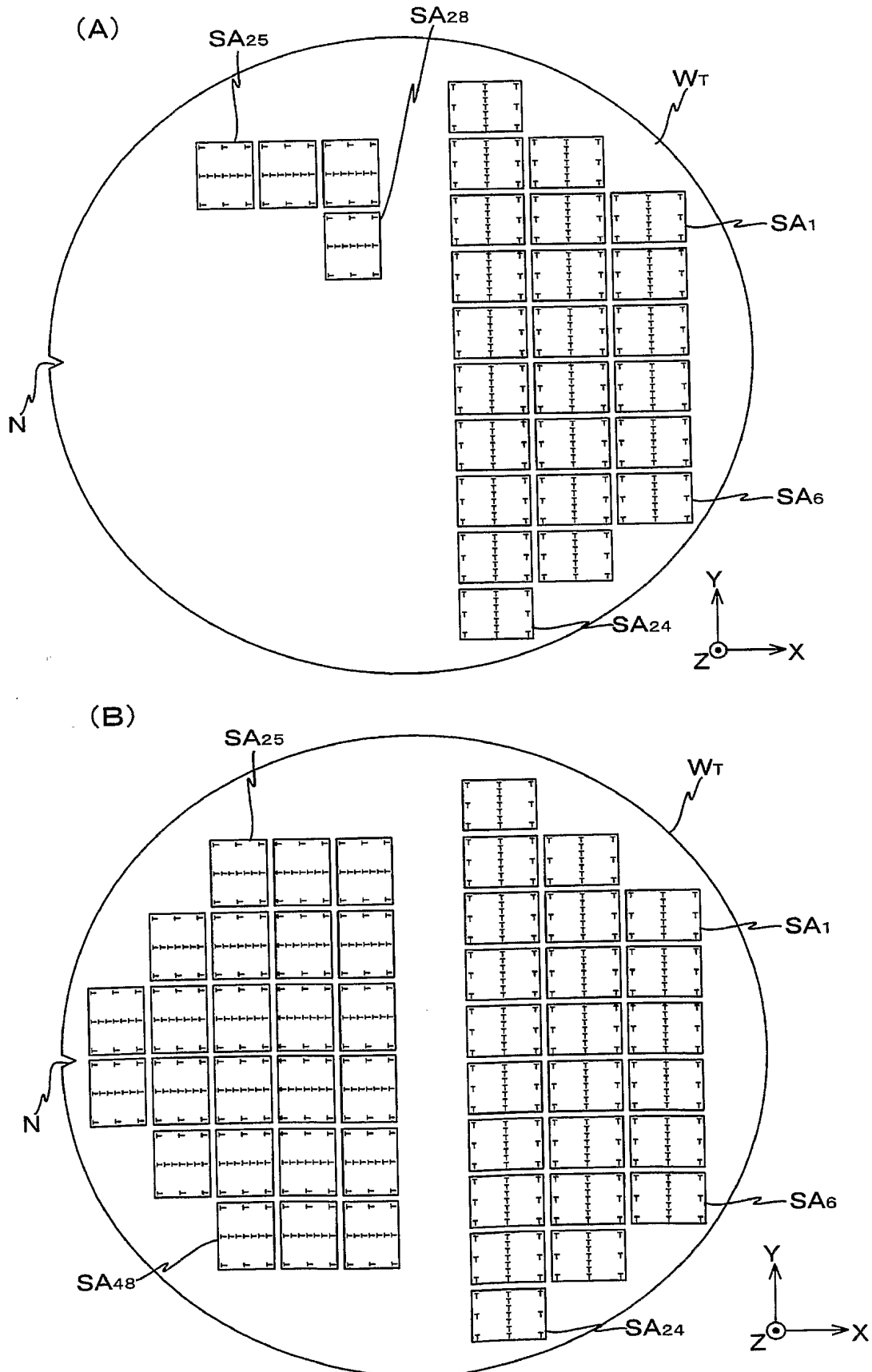
【図 4】



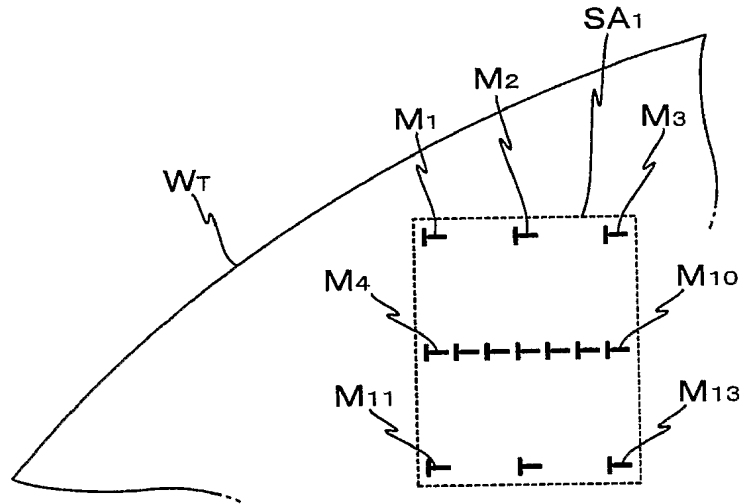
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 画像の取り込みと画像処理との組み合わせに起因するマークのサイズ計測精度の低下を防止する。

【解決手段】 レチクルを露光装置に搭載して露光を行い、レチクル上の計測用マークをウエハ上に転写して計測用マークの第 1 の転写像を形成する（ステップ 2 1 2）。次いで、ウエハを回転後（ステップ 2 1 8）、回転後のウエハに対して計測用マークを転写して計測用マークの第 2 の転写像を形成する（ステップ 2 2 4）。このようにして、計測用マークの転写時のレチクルに対するウエハの向きに応じて、ウエハ上にそれぞれ形成された計測用マークの第 1、第 2 の転写像の画像が、SEMによりそれぞれ取り込まれる。取り込まれたそれぞれの画像に対して、いずれの画像にも回転を加えることなく、計測方向を共通にする画像処理が施され、計測用マークの第 1、第 2 の転写像それぞれの計測方向のサイズが計測される。

【選択図】 図 4

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 4 - 0 3 6 4 5 8
受付番号	5 0 4 0 0 2 3 4 5 6 7
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 6 年 2 月 1 6 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成16年 2月13日

特願 2 0 0 4 - 0 3 6 4 5 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号
氏 名	株式会社ニコン